

Masterarbeit

# Konzept zur Fertigungssteuerung

in der Pleuelfertigung der MAN Diesel & Turbo SE

eingereicht an der

**Montanuniversität Leoben**

erstellt am

**Lehrstuhl Industrielogistik**

**Vorgelegt von:**

Barbara Krenn  
0535209

**Betreuer/Gutachter:**

Univ.-Prof. Dr. Helmut Zsifkovits

Leoben, 22.02.2012

## **Eidesstattliche Erklärung**

Ich erkläre an Eides statt, dass ich diese Arbeit selbständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel nicht benutzt und mich auch sonst keiner unerlaubten Hilfsmittel bedient habe.

Barbara Krenn

Leoben, 22.02.2012

## Danksagung

Ich danke der MAN Diesel & Turbo SE dafür, dass ich die Möglichkeit bekommen habe eine praktische Masterarbeit in Zusammenarbeit mit dem Unternehmen zu schreiben.

Mein besonderer Dank gilt Fr. Katharina Stormanns, die mich im praktischen Teil meiner Arbeit betreut hat. Weiters bedanke ich mich bei Fr. Barbara Bianca Krenn, die mir mit Rat und Tat bei der Erstellung der Materialflusssimulation geholfen hat und mir Verbesserungsvorschläge zur Masterarbeit gegeben hat.

Besonders bedanke ich mich auch bei allen Mitarbeitern des Unternehmens, die mich sehr freundlich aufgenommen und mir Einblick in ihre Arbeit gegeben haben. Danke, dass Sie sich immer Zeit genommen haben und offen für meine Fragen waren.

Weiter bedanke ich mich bei Herrn Univ.-Prof. Dr. Helmut Zsifkovits für die Korrektur und Beurteilung der Arbeit, sowie für die Hilfestellung zur Auswahl der geeigneten Literatur.

An dieser Stelle bedanke ich mich auch bei meinen Eltern, die mir mein Studium ermöglicht haben und mir während der gesamten Studienzeit zur Seite gestanden sind.

## Kurzfassung

Im Rahmen dieser Arbeit wird die Fertigungssteuerung in der Pleuefertigung der MAN Diesel & Turbo SE untersucht und ein Konzept zur Verbesserung dieser erarbeitet. Bestände und Durchlaufzeiten sollen verringert und der Meister in seinen Steuerungsaufgaben entlastet werden.

Der erste Teil beschäftigt sich mit der theoretischen Aufbereitung des Themas Fertigungssteuerung. Es werden die Produktionsplanung und –steuerung, die Unterscheidungsmerkmale der Fertigungsarten und die wichtigsten Steuerungsmethoden beschrieben. Des Weiteren werden im Theorieteil die Grundlagen der Materialflusssimulation erarbeitet, welche im Praxisteil der Überprüfung der geplanten Änderungen der Fertigungssteuerung dient.

Der praktische Teil der Arbeit fokussiert sich auf die Beschreibung und Analyse der Fertigung, welche auch die Datengrundlage für die Materialflusssimulation schafft. Die Simulation wird eingesetzt um die aktuelle Situation und den zukünftigen Ablauf in der Pleuefertigung zu vergleichen, zu bewerten und zu visualisieren. Des Weiteren werden Simulationsläufe und –ergebnisse vorgestellt. Aus den erkannten Problemen der Analyse der Pleuefertigung und den Simulationsergebnissen wird das Konzept zur Fertigungssteuerung in der Pleuefertigung abgeleitet und darauf aufbauend ein Maßnahmenplan zur Umsetzung erstellt.

## **Abstract**

The scope of this thesis is to analyze the production control of the connecting rod production at MAN Diesel & Turbo SE and to develop a concept to improve the controlling process. The goals are to decrease the stock of work in process, the throughput time as well as the planning and controlling effort of the shop floor manager.

The first part of the thesis deals with the theoretical aspects of production control, such as the processes of production planning and scheduling, the differences of production types and the most common methods of production control. Furthermore the basics of material flow simulations are discussed, which is a method used in the practical part of this thesis to investigate how the planned changes in production control affect the target figures.

The second part focuses on the description and analysis of the connecting rod production, which also provides the data for the material flow simulation. The simulation is used to compare the current situation with the planned changes, to evaluate those and to visualize the processes of the production.

In addition the experiments and results are presented. In consideration of all identified problems during the analyzing phase and the results of the simulation, a concept for a new production control system was developed in order to reach the goals. An additional action plan proposes further steps to support the implementation of the concept.

# Inhaltsverzeichnis

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>1</b>
1.1	Problemstellung .....	1
1.2	Ziele .....	2
1.3	Aufbau .....	3
<b>2</b>	<b>Produktionsplanung und –steuerung.....</b>	<b>4</b>
2.1	Begriffsdefinitionen .....	4
2.2	Ziele der PPS .....	6
2.3	Aufgaben der PPS .....	7
2.3.1	Netzwerkaufgaben .....	8
2.3.2	Kernaufgaben .....	9
2.4	Produktionstypen .....	14
2.4.1	Programmbezogene Produktionstypen .....	14
2.4.2	Prozessbezogene Produktionstypen .....	15
2.4.3	Einsatzbezogene Produktionstypen .....	16
2.5	Arten der Fertigungssteuerung .....	17
2.5.1	Material Requirement Planning (MRP).....	18
2.5.2	KANBAN.....	20
2.5.3	Constant Work in Process (CONWIP) .....	22
2.5.4	Belastungsorientierte Auftragsfreigabe (BOA).....	24
2.5.5	Engpasssteuerung .....	25
2.6	Auswahl der geeigneten Fertigungssteuerung .....	27
<b>3</b>	<b>Fabrik- und Materialflusssimulation .....</b>	<b>30</b>
3.1	Begriffsdefinitionen .....	30
3.2	Anwendungsgebiete, Vor- und Nachteile.....	31
3.3	Ablauf.....	33
<b>4</b>	<b>Fertigungssteuerung in der Pleuefertigung .....</b>	<b>36</b>
4.1	Unternehmens- und Projektvorstellung .....	36
4.1.1	MAN SE .....	36
4.1.2	Produktion .....	37
4.2	Projekt Optimierte Auftragssteuerung (OAS) .....	40
4.2.1	Projektverlauf.....	40
4.2.2	Weiteres Vorgehen .....	42
4.3	Angewandte Datenermittlungsmethoden .....	43
4.4	Allgemeine Informationen Pleuefertigung .....	44
4.5	Produktionsplanung und -steuerung in der Pleuefertigung.....	47
4.5.1	Produktionsprogrammplanung.....	47
4.5.2	Produktionsbedarfsplanung .....	48
4.5.3	Eigenfertigungsplanung und -steuerung.....	50
4.6	Problemfelder in der Pleuefertigung .....	55
4.6.1	Ungenauere Terminierung .....	55
4.6.2	Hohe WIP-Bestände und Durchlaufzeiten in der Fertigung .....	57
4.6.3	Hoher Fertigungsplanungs- und Steuerungsaufwand .....	59
<b>5</b>	<b>Materialflusssimulation der Pleuefertigung .....</b>	<b>61</b>
5.1	Aufbau und Vereinfachungen .....	61
5.2	Experimente .....	65
5.3	Ergebnisse .....	66

<b>6</b>	<b>Konzept .....</b>	<b>70</b>
6.1	Anpassen der Starttermine.....	70
6.2	Ablösung der Vorratsaufträge.....	73
6.3	Einführung der CONWIP-Steuerung .....	74
6.4	Rückmelden durch die Werker.....	76
6.5	Maßnahmenplan.....	77
<b>7</b>	<b>Fazit und Ausblick .....</b>	<b>79</b>

## Abkürzungsverzeichnis

AEN	Ausschuss, Ersatz, Nacharbeit
BOA	Belastungsorientierte Auftragsfreigabe
CNC	Computerized Numerical Control
CONWIP	Constant Work in Process
DBR	Drum-Buffer Rope
DLZ	Durchlaufzeit
EFZ	Eigenfertigungszeit
ERP	Enterprise Resource Planning
FIFO	First in first out
FISFO	First in system first out
MAN	Maschinenfabrik Augsburg-Nürnberg
MDT	MAN Diesel & Turbo
MES	Manufacturing Execution System
Mrd.	Millarde
MRP (I)	Material Requirement Panning
MRP II	Manufacturing Resource Planning
OFIS	Online Fertigungsinformationssystem
PLZ	Planlieferzeit
PPS	Produktionsplanung und -steuerung
PSP	Projektstrukturplan
QM	Qualitätsmanagement
F&E	Forschung und Entwicklung
SE	Societas Europaea (Europäische Gesellschaft)
W	Works (Produktion)



WIP	Work in Process
WL	Central Logistics
WLP	Central Logistics Process Development
WM	Manufacturing
WMM	Machining Shop

# 1 Einleitung

Die Märkte sind nach der Wirtschaftskrise 2009 und der aktuellen Staatsschuldenkrise der Euro-Länder nach wie vor unsicher und für das Jahr 2012 sind die Wachstumsprognosen für Deutschland sehr zurückhaltend.<sup>1</sup>

Um die Wettbewerbsfähigkeit trotz der aktuellen wirtschaftlichen Situation und der großen Konkurrenz zu erhalten, setzt die MAN Diesel & Turbo SE (MDT) verstärkt auf die Entwicklung neuer Motoren und den Vertrieb von Motoren an stromproduzierende Unternehmen. Die Stärken der MDT sind die hohe Qualität der Motoren und die ausgezeichneten Serviceleistungen. An den produzierenden Standorten wird darauf Wert gelegt nach den Lean Management Prinzipien zu arbeiten, mit dem Ziel die internen Kosten zu reduzieren und die Serviceleistungen gegenüber den Kunden zu erhöhen.

Zu den Lean Management Prinzipien gehören u. A. schlanke Hierarchien, die Fertigung an den Materialfluss zu orientieren und sich ständig mit kleinen Verbesserungen weiterzuentwickeln. Die Vermeidung von Verschwendung ist außerdem ein wichtiger Aspekt um eine schlanke Produktion zu gewährleisten und die Ziele des Lean Managements, eine hohe Wertschöpfung und Kundenzufriedenheit, zu erreichen.

Aus einem Projekt, welches den gesamten Auftragsprozess der MAN Diesel & Turbo SE am Standort Augsburg untersuchte, wurden verschiedene Verbesserungspotentiale in der Auftragsabwicklung erkannt. Als Ergebnis dieser Untersuchung ist auch der Projektauftrag, die Fertigungssteuerung in der Pleuefertigung genauer zu untersuchen, für diese Masterarbeit entstanden.

In den folgenden Absätzen werden die Problemstellung und die daraus folgenden Ziele der Arbeit kurz beschrieben.

## 1.1 Problemstellung

Der Produktionsplanungslauf, durchgeführt von SAP R3<sup>2</sup>, der MDT berücksichtigt zwar pro Arbeitsstation die Maschinenkapazitäten für einen Auftrag, betrachtet jedoch nicht die gesamte Auftragslage. Bei hoher Auslastung gibt die Bedarfsplanung somit keine realisierbaren Fertigstellungstermine vor. Des Weiteren werden kurzfristige Mon-

---

<sup>1</sup> Landesbank Berlin AG (2011)

<sup>2</sup> SAP R3 ist eine Software mit deren das Unternehmen u. A. seine Ressourcen plant.

tageverschiebungen bei bereits umgesetzten Fertigungsaufträgen oft nicht in das System eingepflegt und Bedarfe für Service und Entwicklung werden nicht in der Langfristplanung berücksichtigt. Um diesen Problemen entgegen zu wirken haben sich in den verschiedenen Fertigungsbereichen individuelle Methoden entwickelt um die Produktion in der Werkstatt zu planen und zu steuern. Neben dem SAP R3 System gibt es weitere Systeme welche Einfluss auf die Werkstättenplanung haben.

In der Pleuefertigung wird die Fertigungsplanung und –steuerung mittels Exceldateien ohne Programmierungen durchgeführt. Die Aufträge werden nach den Bedarfsterminen der „Bandauflage“<sup>3</sup> oder dem Produktionsprogrammplan gestartet. Die Steuerung basiert hauptsächlich auf den Erfahrungswerten der Arbeiter bzw. des Meisters und berücksichtigt terminliche Vorgaben von SAP nicht. Es wird darauf geachtet, dass die Auslastung der Maschinen hoch und die Rüstzeiten ein Minimum erreichen. Jedoch wird nicht auf den Rohteilbestand vor und den Bestand in der Fertigung Rücksicht genommen.

Dadurch entsteht ein hoher manueller Planungsaufwand für den zuständigen Meister. Außerdem stimmen die Daten im SAP R3 nicht mit den realen Daten überein. Dies führt zu hoher Intransparenz im Material- und Informationsfluss für andere Prozessbeteiligte.

## 1.2 Ziele

Ziele der Masterarbeit sind, den Planungs- und Steuerungsprozess in der Pleuefertigung zu untersuchen und ein Steuerungskonzept für die Fertigung zu entwerfen. Dadurch soll der Aufwand für den zuständigen Meister in der Pleuefertigung reduziert, sowie der Bestand an Rohteilen vor der Fertigung und der Bestand an Teilen in der Fertigung verringert werden. Die Ziele sollen durch eine Analyse der aktuellen Informations- und Materialflüsse und eine Interpretation dieser erarbeitet werden. Das Konzept soll leicht verständliche und einfach implementierbare Methoden und Regeln zur Fertigungssteuerung und auch Vorschläge zur Verbesserung des Materialflusses enthalten.

---

<sup>3</sup> Die Bandauflage ist eine Excel-Liste, welche die Montagetermine der Motoren beinhaltet.

## 1.3 Aufbau

Der erste Abschnitt der Arbeit beschäftigt sich mit dem theoretischen Hintergrund, welcher die Basis für die Aufgabenstellungen bildet. Ein Teil der Theorie beinhaltet die Grundlagen der Produktionsplanung und -steuerung, wobei zuerst auf die Ziele und Aufgaben eingegangen wird und dann die wichtigsten Fertigungssteuerungsmethoden vorgestellt werden. Im Anschluss wird eine geeignete Methode für die Pleuefertigung ausgewählt.

Der zweite Theorieteil beschäftigt sich mit der Fabrik- und Materialflusssimulation, welche in dieser Arbeit als Methode zum Vergleich und der Bewertung der ausgewählten Fertigungssteuerungsmethode herangezogen wird. Es werden die Grundlagen der Simulation und die Vorgehensweise beschrieben.

Der praktische Teil der Arbeit stellt kurz das Unternehmensumfeld dar und beschreibt die Ausgangssituation für die Diplomarbeit. Anschließend wird auf die Materialflüsse und Planungs- und Steuerungsprozesse der Pleuefertigung eingegangen und die erkannten Probleme beschrieben.

Nach der Analyse und Vorstellung der Pleuefertigung werden der Simulationsaufbau, die Experimente und Ergebnisse präsentiert.

Aus den analysierten Problemfeldern und mit Hilfe der Simulationsergebnisse wird ein Fertigungssteuerungskonzept, mit ausgearbeitetem Maßnahmenplan, um dem Meister seine Arbeit zu erleichtern und den Materialfluss zu verbessern, erarbeitet.

## 2 Produktionsplanung und –steuerung

Die Fertigungssteuerung ist Bestandteil der Produktionsplanung und –steuerung (PPS). Dieses Kapitel ist die theoretische Abhandlung, welche notwendig ist um die praktischen Aufgaben verstehen und umsetzen zu können. Außerdem dient es der Begriffsbeschreibung und –eingrenzung des Arbeitsumfangs.

### 2.1 Begriffsdefinitionen

Im ersten Kapitel des theoretischen Teiles werden die verwendeten Begriffe kurz erläutert, um ein gemeinsames Verständnis dieser zu gewährleisten.

#### **Durchlaufzeit:**

„Die Durchlaufzeit in der Produktion startet mit der Bearbeitung des ersten Teils des Fertigungsauftrags beim ersten Arbeitsgang und endet mit der Fertigstellung des Teils des Fertigungsloses beim letzten Arbeitsgang. Darin enthalten sind die Bearbeitungs-/ Zykluszeiten und die Warte- und Liegezeiten während und zwischen den einzelnen Arbeitsgängen.“<sup>4</sup>

Die Durchlaufzeit in der Fertigung wird im Wesentlichen durch folgende Parameter beeinflusst:<sup>5</sup>

- Rüstzeit
- Bearbeitungszeit (abhängig von der Losgröße)
- Prozessbedingte Wartezeit (technisch bedingt)
- Stillstandzeiten (organisatorische oder technische Probleme)
- Fehlerrate (Ausschuss und Nacharbeit)
- Arbeitsvorrat bzw. Warteschlangen vor den Bearbeitungsstationen
- Warte- und Liegezeiten

#### **Engpass:**

Unter Engpass wird das Auftreten knapper Kapazitäten, wie z.B. Maschinen- oder Personalkapazitäten verstanden.<sup>6</sup>

---

<sup>4</sup> Kletti, Schuhmacher (2011), S. 54

<sup>5</sup> Vgl. Kletti, Schuhmacher (2011), S. 55

<sup>6</sup> Springer Gabler/Springer Fachmedien GmbH (2011)

**Lieferfähigkeit:**

„Die Lieferfähigkeit gibt an, wie viele angefragte Kundenaufträge nach Kundenwunsch zugesagt werden können.“<sup>7</sup>

**Liefertreue:**

„Die Liefertreue bezeichnet den prozentualen Anteil der innerhalb einer definierten Liefertermintoleranz gelieferten Aufträge.“<sup>8</sup>

**Lieferzeit:**

„Die Lieferzeit ist definiert als die Zeitdauer zwischen dem Auftragseingang und der Auslieferung des Auftrags. Sie wird meist in der Einheit Betriebskalender- bzw. Arbeitstag gemessen.“<sup>9</sup>

**Pull-System:**

In einem Pull-System werden die Aufträge durch den Verbrauch ausgelöst und somit gesteuert. Es wird eine Bestandsobergrenze durch das System festgelegt und die Ausbringungsmenge beobachtet, jedoch nicht im Vorhinein detailliert geplant.<sup>10</sup>

**Push-System:**

Im Gegenteil zum Pull-System werden hier die Aufträge zu einem bestimmten Termin auf Basis der geplanten Ausbringungsmenge eingesteuert.<sup>11</sup>

**Work in Process (WIP):**

Unter WIP, Umlauflagerbestand, wird der Bestand an Halbfabrikaten, welcher sich in der Fertigung befindet, verstanden.<sup>12</sup>

Nachdem die wichtigsten Begriffe definiert sind, werden im folgenden Kapitel die Ziele und Aufgaben Produktionsplanung und –steuerung erläutert.

---

<sup>7</sup> Jodlbauer (2008), S. 40

<sup>8</sup> Lödding (2008), S. 24

<sup>9</sup> Lödding (2008), S. 20

<sup>10</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S.107

<sup>11</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S.107

<sup>12</sup> Internetquelle

## 2.2 Ziele der PPS

Die Ziele der PPS sind es sowohl die Logistikleistung, als auch eine wirtschaftliche Fertigung zu erreichen. Das in Abbildung 1 gezeigte Zielsystem wird über die Logistikleistung und Logistikkosten beschrieben.

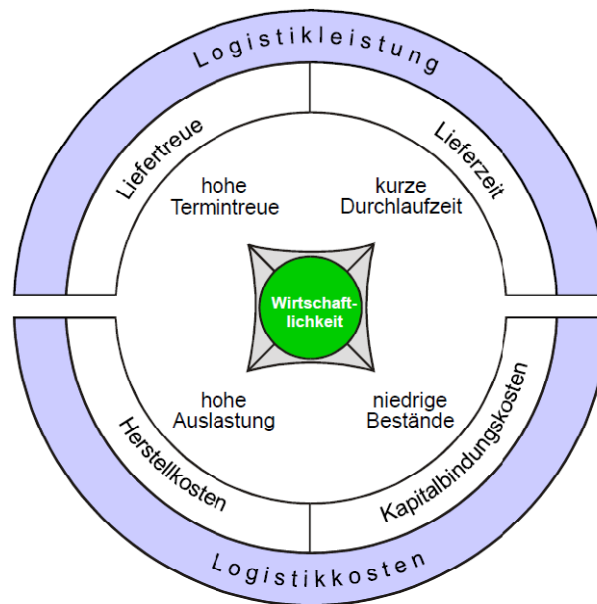


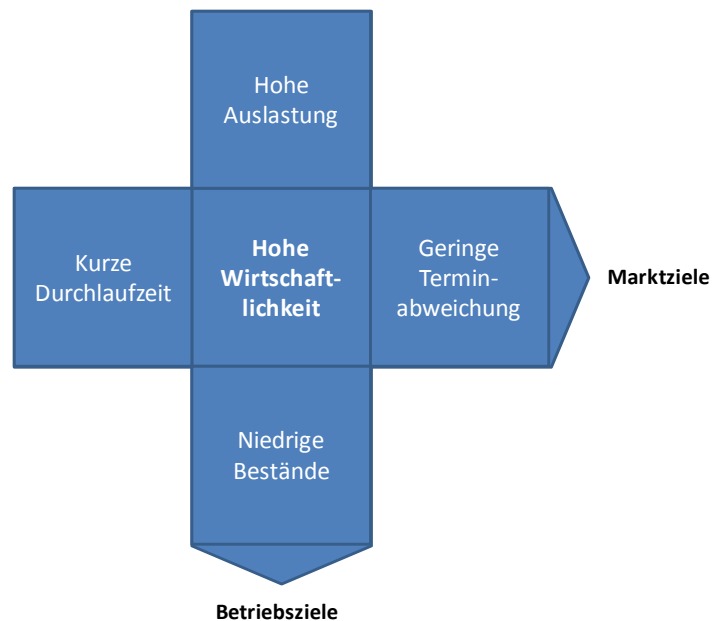
Abbildung 1: Zielsystem der Produktionslogistik<sup>13</sup>

Um kurze Lieferzeiten und eine hohe Lieferfähigkeit zu erreichen, müssen die Durchlaufzeiten entsprechend kurz sein. Eine gute Termineinhaltung bei der Auftragsabwicklung gewährleistet eine hohe Liefertreue. Den Logistikleistungen werden die Logistikkosten gegenübergestellt. Die Kapitalbindungskosten können durch Bestandsveränderungen beeinflusst werden, die Herstellkosten sind abhängig von der Auslastung.<sup>14</sup>

Kunden legen Wert darauf die Produkte schnell und zu genau vorhergesagten Terminen zu erhalten. Das Unternehmen strebt eine gleichmäßige und hohe Auslastung an, wobei die Bestände (Rohmaterial, Halb- und Fertigfabrikaten) möglichst gering gehalten werden sollen. Einerseits die begrenzten Ressourcen und andererseits die verlangten Leistungen führen zu einem Zielkonflikt, welcher in Abbildung 2 dargestellt ist.

<sup>13</sup> Wiendahl (1997), S. 251

<sup>14</sup> Vgl. Wiendahl (1997), S. 251



**Abbildung 2: Zielsystem der PPS<sup>15</sup>**

Im folgenden Kapitel werden die Aufgaben beschrieben, durch welche die Zielsetzungen der PPS umgesetzt werden können.

## 2.3 Aufgaben der PPS

„Die PPS hat die Aufgabe, das laufende Produktionsprogramm für mehrere Planungsperioden im Voraus zu planen, daraus Material- und Ressourcenbedarfe abzuleiten und das Produktionsprogramm trotz unvermeidlicher Störungen wie Personalausfall oder Maschinenstörungen, Lieferverzögerungen und Ausschuss möglichst gut zu realisieren.“<sup>16</sup>

Die Produktionsplanung beschäftigt sich mit der Gestaltung des Inhaltes und der Einzelprozesse der Produktion. Die Produktionssteuerung beschäftigt sich, unter Berücksichtigung der Vorgaben aus der Produktionsplanung und den logistischen Zielgrößen, damit, welche Teilprozesse in welcher Reihenfolge einen Produktionsfaktor beanspruchen.<sup>17</sup>

<sup>15</sup> Wiendahl (1997), S. 252

<sup>16</sup> Wiendahl (1997), S. 250

<sup>17</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 28



Die Aufgabensicht des Aachener PPS-Modells, in Abbildung 3 dargestellt, dient zur Übersicht der Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung. Dieses Modell ist stark an dem Manufacturing Resource Planning Konzept (MRP II) angelehnt.

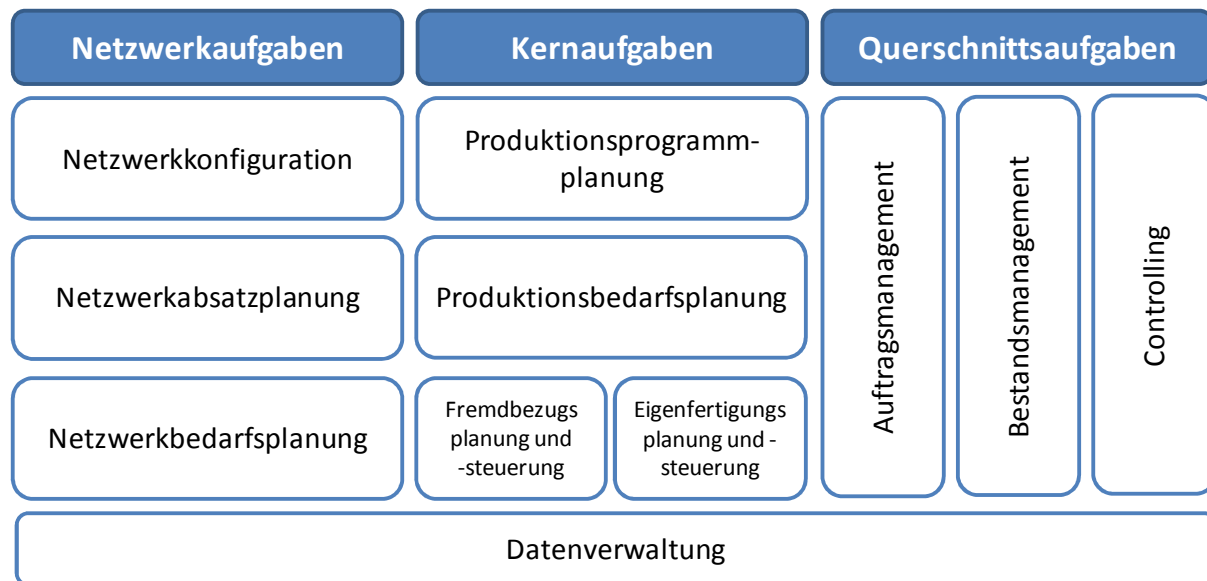


Abbildung 3: Aufgabensicht des Aachener PPS-Modells <sup>18</sup>

Das ursprüngliche Aachener PPS-Modell von Luczak und Eversheim wurde von Schuh um die Netzwerkaufgaben erweitert, da sich die meisten Produktionsunternehmen, auf Grund von ständig sinkender Wertschöpfungstiefe in einem Wertschöpfungsnetzwerk wiederfinden.<sup>19</sup>

Da sich diese Arbeit hauptsächlich auf die Fertigungssteuerung konzentriert und sich weniger mit strategischen Planungstätigkeiten beschäftigt, wird in den folgenden Kapiteln der Fokus auf die Kernaufgaben gelegt.

### 2.3.1 Netzwerkaufgaben

Die Netzwerkaufgaben beschreiben die notwendigen strategischen und taktischen Planungsaufgaben innerhalb des Produktionsnetzwerkes mit verteilten lokalen Unternehmenseinheiten. Netzwerkaufgaben finden teils auf der lokalen Planungsebene unter den Kernaufgaben ihr Pendant, haben im Allgemeinen jedoch unternehmens-

<sup>18</sup> Schuh (2006), S. 29

<sup>19</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 28

übergreifenden Charakter und einen größeren Detaillierungsgrad. Folgende Punkte gehören zu den Netzwerkaufgaben:<sup>20</sup>

- Netzwerkkonfiguration: Produktprogrammplanung, Netzwerkauslegung
- Netzwerkabsatzplanung: Absatzmengenermittlung, Absatzmengenkonsolidierung
- Netzwerkbedarfsplanung: Netzwerkkapazitätsplanung, Netzwerkbedarfsallokation, Netzwerkbeschaffungsplanung

### 2.3.2 Kernaufgaben

Kernaufgaben sind jene Aufgaben, die sich mit dem eigentlichen Produktionsprozess beschäftigen.

#### Produktionsprogrammplanung

Die Produktionsprogrammplanung besteht im Wesentlichen aus drei Aufgaben:

- der Absatzplanung, welche meist vom Marketing/Vertrieb durchgeführt wird,
- der Primärbedarfsplanung und
- der Ressourcengrobplanung.<sup>21</sup>

In der Produktionsprogrammplanung werden für die einzelnen Erzeugnisse in einer bestimmten Periode die Nettoprimärbedarfe mit ihren genauen Bedarfsterminen ermittelt, kurz gesagt, welche Mengen wann erzeugt werden sollen.

Die Nettoprimärbedarfe werden aus den Ergebnissen der **Absatzplanung** (Bruttoprimärbedarfe) abgeleitet, die neben Bedarfen für Ersatzteile, Entwicklung usw. hauptsächlich aus Kundenaufträgen und Absatzprognosen erstellt werden. Der Bruttoprimärbedarf wird mit den vorhandenen Beständen abgeglichen um den Nettoprimärbedarf zu errechnen.<sup>22</sup>

Nach der **Primärbedarfsrechnung** muss überprüft werden, ob das Produktionsprogramm mit den vorhandenen Ressourcen umsetzbar ist. Dafür werden in der **Ressourcengrobplanung** die verfügbaren Ressourcen den Bedarfen gegenübergestellt und grob abgeglichen. Kann der Primärbedarf nicht gedeckt werden, ist eine Anpassung notwendig. Entweder über zeitliche Verschiebung der Primärbedarfe oder durch Aufstockung von Ressourcen.<sup>23</sup>

---

<sup>20</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 31

<sup>21</sup> Vgl. Schuh 2006, S. 38 f.

<sup>22</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 81 f.

<sup>23</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 42

Die Ergebnisse der Produktionsprogrammplanung sind einerseits der Produktionsplan und andererseits der Rahmenbeschaffungsplan für den Einkauf.<sup>24</sup> Für die Fertigungssteuerung ist ein realisierbarer Produktionsprogrammplan Grundlage für eine hohe Liefertreue. Mittels Produktionsprogrammplan können frühzeitig Engpässe erkannt werden, welche als Grundlage für Kapazitätsentscheidungen dienen.<sup>25</sup>

### **Produktionsbedarfsplanung**

Die Produktionsbedarfsplanung muss mit einem geeigneten Beschaffungsprogramm die Materialressourcen sicherstellen und die Kapazitäten so abgleichen oder anpassen, dass das Produktionsprogramm realisiert werden kann. Je nach IT-Konzept kann dies sukzessiv oder auch simultan (z.B. Advanced Planning System) erfolgen. In der folgenden Beschreibung wird von einer sukzessiven Planung ausgegangen.<sup>26</sup>

Der erste Schritt ist die **Bruttosekundärbedarfsermittlung**, welche zunächst ohne Berücksichtigung der Lagerbestände durchgeführt wird. Je nach Wert und Verbrauchsmuster der Teile wird zwischen deterministischen, stochastischen und heuristischen Verfahren zur Bedarfsermittlung unterschieden. Die deterministische Bedarfsermittlung errechnet durch die Stücklistenauflösung und unter Berücksichtigung gewisser Vorlaufzeiten den Bedarf hinsichtlich Art, Menge und Termin. Bei den stochastischen Verfahren werden die Bedarfe mittels statistischer Prognoseverfahren ermittelt, deren Grundlage Vergangenheitswerte sind. Erweisen sich die beiden beschriebenen Methoden als zu aufwendig im Verhältnis des Preises der Güter, so wird die heuristische Bedarfsermittlung, basierend auf den subjektiven Schätzungen der Disponenten eingesetzt.<sup>27</sup>

Bei der **Nettosekundärbedarfsermittlung** werden nun auch Lagerbestände, Reservierungen, Umlauf-, Sicherheits- und Meldebestände zur Ermittlung des Sekundärbedarfes berücksichtigt. Der einer Periode zugeordnete Bedarf, welcher weder im Lager verfügbar, noch in einem geplanten oder veranlassten Auftrag zur Bedarfsdeckung enthalten ist, stellt den Nettosekundärbedarf dar.<sup>28</sup>

Nachdem berechnet wurde, welche Materialien wann gebraucht werden, müssen miteinander in Beziehung stehende Fertigungsaufträge noch zeitlich geplant und aneinander gereiht werden. In der **Durchlaufterminierung** wird ein Netzplan erstellt,

---

<sup>24</sup> Vgl. Schuh(2006), S. 40

<sup>25</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 83

<sup>26</sup> Vgl. Schuh(2006), S. 42 f.

<sup>27</sup> Vgl. Schuh(2006), S. 43 f.

<sup>28</sup> Vgl. Schuh(2006), S. 45

der pro Fertigungsauftrag Eckstart- und Eckendtermin je Kapazitätsgruppe berechnet, jedoch wesentlich grober als in der Eigenfertigungsplanung und -steuerung.<sup>29</sup>

Es wird zwischen Vorwärts- (ausgehend von fixem Starttermin), Rückwärts- (ausgehend von fixem Bedarfsendtermin) und Mittelpunktterminierung (Punkt von dem aus eine Vorwärts- und Rückwärtsterminierung vorgenommen wird und kommt bei Engpassmaschinen zum Einsatz) unterschieden.<sup>30</sup>

Nach der Durchlaufterminierung, welche von unbegrenzten Kapazitäten ausgeht, muss der sich durch die Einlastung von Aufträgen ergebene Kapazitätsbedarf ermittelt werden. Die **Kapazitätsbedarfsermittlung** errechnet aus den terminierten Arbeitsgängen den Kapazitätsbedarf an den Arbeitsstationen in den einzelnen Planungsperioden.<sup>31</sup>

Am Ende der Bedarfsplanung sind nun noch die Kapazitätsbedarfe dem Angebot gegenüber zu stellen. Bei der **Kapazitätsabstimmung** müssen die um interne und externe Ressourcen konkurrierenden Aufträge berücksichtigt und der Bedarf mit dem Angebot ausgeglichen werden. Dies kann über Kapazitätsanpassungen (z.B. Überstunden, Sonderschichten) oder Kapazitätsabgleiche (z.B. zeitliche Verschiebung von Aufträgen, Auswärtsvergaben, technische Verlagerung auf Alternativmaschinen) erfolgen.<sup>32</sup>

### **Eigenfertigungsplanung und -steuerung**

In der Eigenfertigungsplanung werden die bereits in der Durchlaufterminierung bestimmten Planvorgaben im Rahmen des Dispositionsspielraumes (z.B. frühester/spätester Starttermin) detaillierter geplant und umgesetzt. Viele Parameter, welche zum Zeitpunkt der Eckterminierung noch nicht bekannt sind, wie z.B. Maschinenstörungen, Personal- und Werkzeugausfälle oder Auftragsverschiebungen, werden nun in der Eigenfertigungsplanung und Steuerung beachtet.<sup>33</sup>

Eine Teilaufgabe der Eigenfertigungsplanung ist die **Losgrößenbestimmung**, bei welcher ein Kostenoptimum der Einflussfaktoren Bestand in der Fertigung und Rüstzeiten gefunden werden muss. Die Losgrößen werden entweder aufgrund von Losgrößenberechnungen oder aber auch aus Erfahrungswerten von Mitarbeitern intuitiv festgelegt. Die Berechnung der Losgrößen kann sowohl einmalig, als auch erneut bei jeder

---

<sup>29</sup> Vgl. Schuh(2006), S. 46 f.

<sup>30</sup> Vgl. Schuh(2006), S. 46 f.

<sup>31</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 86

<sup>32</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 86

<sup>33</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 50 f.

Losbildung geschehen. Lose werden aus unterschiedlichen Kundenaufträgen zusammengefasst und führen somit zu einer Entkopplung der Fertigungsaufträge von Kundenaufträgen.<sup>34</sup>

Bei der **Feinterminierung** werden unter Berücksichtigung der Ecktermine, der Bearbeitungs- und Übergangszeiten die Durchlaufzeiten terminiert. Dies kann, wie bereits bei der Durchlaufterminierung beschrieben, durch eine Rückwärts-, Vorwärts-, oder Mittelpunktterminierung erfolgen. Auch die Feinterminierung ergibt nicht immer zufriedenstellende Ergebnisse, da, wie bei der Durchlaufterminierung, Starttermine in der Vergangenheit liegen, Endtermine nicht erreicht werden oder durch Störungen Terminverschiebungen zu Stande kommen. In diesen Fällen müssen die Durchlaufzeiten verkürzt werden, was z.B. durch eine Losteilung (Bearbeitung von Teilen eines Loses an mehreren Maschinen gleichzeitig) oder einer Loszusammenfassung (Einsparung der Rüstzeiten) erreicht werden kann.<sup>35</sup>

Sind zum gleichen Zeitpunkt mehr als ein Arbeitsvorgang eines Auftrages vor einer Kapazitätseinheit verfügbar, muss entschieden werden, welcher Auftrag als nächstes begonnen wird. Mit Hilfe von ausgewählten Kriterien wird in der **Reihenfolgeplanung** versucht eine optimale Abarbeitungsreihenfolge zu ermitteln. Die wartenden Arbeitsgänge können nach Prioritätsregeln oder Kumulationskriterien, wie der Rüstzeitminimierung, gereiht werden. In Fertigungsinseln kann auf eine konkrete Planung auch verzichtet werden, wenn durch intensive Kommunikation und Erfahrungseinsatz die Mitarbeiter selbst über die Abarbeitungsreihenfolge entscheiden.<sup>36</sup>

Nach der Reihenfolgeplanung sind alle Arbeitsvorgänge der Fertigungsaufträge verplant und werden je Fertigungsbereich zu einem Werkstattprogramm zusammengestellt. Nun wird auf die eigentliche Eigenfertigungssteuerung eingegangen.<sup>37</sup>

Die **Verfügbarkeitsprüfung** für einzelne Aufträge findet nach der Einplanung und vor der Freigabe eines Auftrages statt. Es wird vor der Auftragsfreigabe geprüft, ob alle erforderlichen Ressourcen verfügbar sind, andernfalls wird der Auftrag nicht freigegeben. Ist die Verfügbarkeit nicht gegeben, muss das vorgesehene Planungsergebnis in Frage gestellt werden und es ist eventuell eine erneute Feinterminierung erforderlich.<sup>38</sup>

---

<sup>34</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 52

<sup>35</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 52 f.

<sup>36</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 54

<sup>37</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 54

<sup>38</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 55

Aufträge werden unter Beachtung der Ergebnisse der Feinplanung freigegeben. Hierfür gibt es festgelegte Freigaberegeln oder Verfahren, wie z.B. der belastungsorientierten Auftragsfreigabe (BOA).<sup>39</sup>

Die beschriebenen Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung werden in folgender Abbildung zusammengefasst.

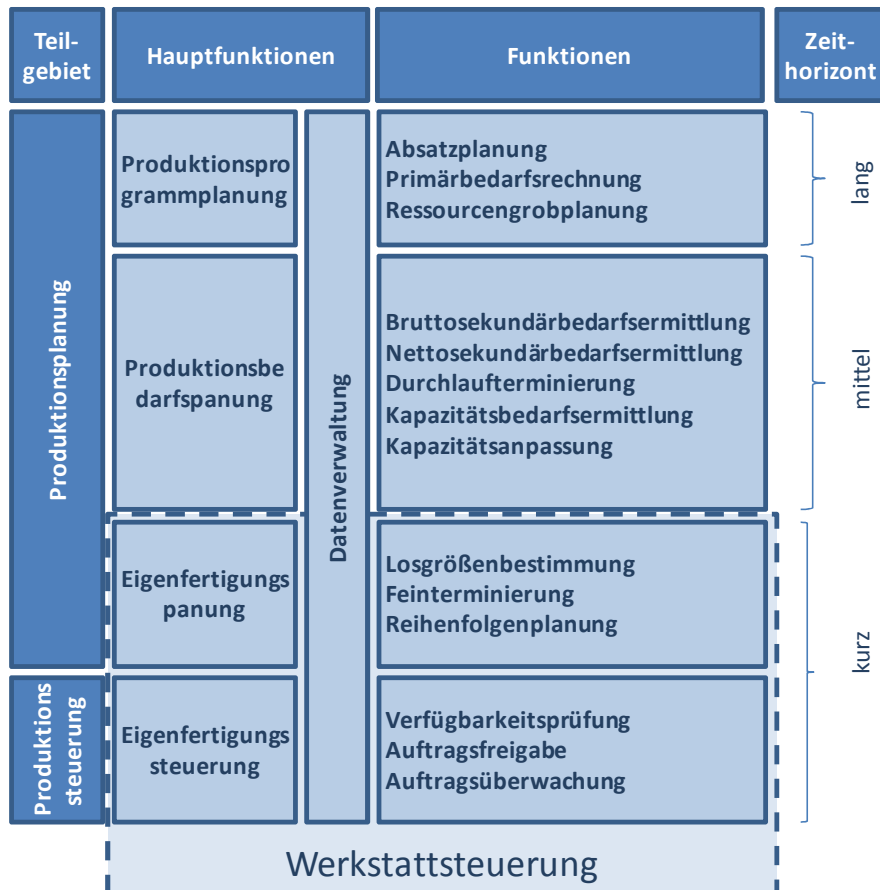


Abbildung 4: Aufgaben der PPS<sup>40</sup>

Je nach Produktionstyp eignen sich verschiedene Planungs- und Steuerungsmethoden. In den folgenden zwei Kapiteln werden zuerst die Produktionstypen und die wichtigsten Steuerungsmethoden ausgearbeitet.

<sup>39</sup> Vgl. Schuh (2006), S. 56

<sup>40</sup> Vgl. Wiendahl (1997), S. 257

## 2.4 Produktionstypen

Je nach Produktionstyp gibt es bestimmte Merkmale, welche bei der Auswahl der Fertigungssteuerung oder auch einer geeigneten Software für die Planung- und Steuerung entscheidend sind. Nach Tempelmeier<sup>41</sup> kann die Fertigung nach programmbezogenen, prozessbezogenen und einsatzbezogenen Merkmalen unterschieden werden. Die Produktionstypen werden in diesem Kapitel beschrieben und direkt auf die Situation bei der MAN Diesel & Turbo SE in der Pleuefertigung übertragen. Die Fertigung wird als Kunde von den Lieferanten und dem Lager betrachtet und als Lieferant für die Montage Augsburg und St. Nazaire, sowie Lizenznehmer, Service und Entwicklung.

### 2.4.1 Programmbezogene Produktionstypen

Diese unterscheiden sich durch Merkmale, welche das Produktionsprogramm betreffen, also durch die Produkt- und die Programmeigenschaften.

#### Produkteigenschaften

Produkte werden nach der

- Güterart: materiell, immateriell
- Gestalt: ungeformte (z.B. Saft), geformte Fließgüter (z.B. Stahlblech), Stückgut
- Zusammensetzung: einteilige, mehrteilige und
- Beweglichkeit: beweglichen, unbeweglichen

unterschieden.<sup>42</sup>

#### Programmeigenschaften

Produktionsprogramme werden nach der

- Anzahl der Erzeugnisse: Einproduktproduktion, Mehrproduktproduktion
- Auflagengröße: Massenproduktion, Serienproduktion, Einzelproduktion und
- Beziehung der Produktion zum Absatzmarkt: Kundenproduktion, Marktproduktion definiert.<sup>43</sup>

In der Pleuefertigung werden mehrere Varianten von mehrteiligen und beweglichen Stückgütern in Serie auf Vorrat produziert, wobei hinter jedem Vorratsauftrag ein Kundenauftrag steht.

---

<sup>41</sup> Vgl. Tempelmeier, Günther (2007), S. 10

<sup>42</sup> Vgl. Tempelmeier, Günther (2007), S. 10 f.

<sup>43</sup> Vgl. Tempelmeier, Günther (2007), S. 11 f.

## 2.4.2 Prozessbezogene Produktionstypen

Organisationsprozesse werden anhand der organisatorischen Anordnung der Arbeitssysteme (Mensch und Maschine) und der Struktur des Produktionsprozesses unterschieden.

### Organisatorische Anordnung der Arbeitssysteme

Die in Abbildung 5 dargestellten Organisationstypen unterscheiden sich nicht nur in der Anordnung der Arbeitssysteme, sondern auch durch die zwischen ihnen erforderlichen Transportsysteme.

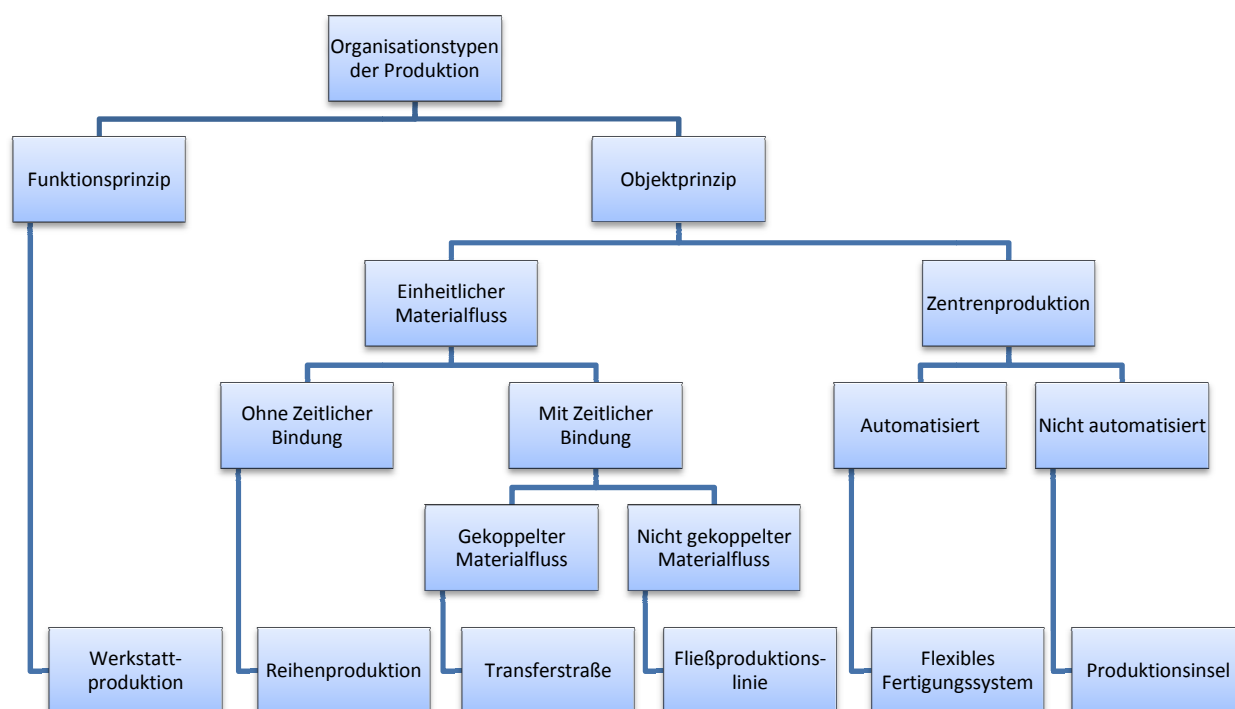


Abbildung 5: Organisationstypen der Produktion<sup>44</sup>

Nach dem Funktionsprinzip werden Arbeitssysteme mit gleichartigen Funktionen nebeneinander angeordnet. Im Gegenteil zum Funktionsprinzip orientiert sich das **Objektprinzip** nach den Arbeitsfolgen der herzustellenden Güter.<sup>45</sup>

Bei einem **einheitlichen Materialfluss** werden Arbeitssysteme entsprechend den Arbeitsplänen linear angeordnet. Diese Form ist für ein einheitliches Produkt oder eine begrenzte Anzahl von Produktvarianten sinnvoll. In einer **Reihenproduktion** sind die Arbeitsschritte nicht getaktet und es können auch Arbeitsstationen übersprungen

<sup>44</sup> Tempelmeier, Günther (2007), S. 13

<sup>45</sup> Vgl. Tempelmeier, Günther (2007), S. 13



werden, Rückflüsse sind nicht möglich. Liegt jedoch eine zeitliche Bindung zwischen den Arbeitsschritten vor, d.h. die Güter werden mit dem Transportsystem verbunden und synchron fortbewegt, spricht man von einer **Transferstraße**. Ist eine unabhängige Bewegung der Güter voneinander möglich, dann wird von einer **Fließproduktionslinie** gesprochen.

In einer **Zentrenproduktion** werden unterschiedliche Arbeitssysteme räumlich, ebenfalls nach dem Objektprinzip, zusammengefasst. Jedoch muss der Materialfluss nicht einheitlich sein, sondern kann beliebig in einem Produktionszentrum vorkommen.<sup>46</sup>

### Struktur des Produktionsprozesses

Die Struktur des Produktionsprozesses wird nach

- Form des Materialflusses: linear, konvergierend<sup>47</sup>, divergierend<sup>48</sup>, generell
- Kontinuität des Materialflusses: kontinuierlicher, diskontinuierlicher
- Ortsbindung der Produkte: örtlich gebunden, örtlich ungebunden
- Anzahl der Arbeitsgänge: einstufig, mehrstufig und
- Veränderbarkeit der Arbeitsgangfolge: vorgegeben, veränderbar unterschieden.<sup>49</sup>

Bei der Pleuefertigung handelt es sich um eine Produktionsinsel. Der Materialfluss ist zuerst divergierend (Pleuel wird in drei Teile gesägt), wobei gegen Ende des Fertigungsprozesses zwei Teile wieder zusammenschraubt werden, also konvergiert der Fluss wieder. Der Fluss ist diskontinuierlich, da er durch Kontrollarbeitsfolgen und Wartezeiten vor den Maschinen unterbrochen wird. Der Fertigungsprozess wird über mehrere Stufen geplant. Wobei untergeordnete Aufträge Komponenten in den Stücklisten von übergeordneten Aufträgen sind und teilweise die Pleuelteile parallel gefertigt werden. Jeder Auftrag im Fertigungsprozess hat mindestens drei Arbeitsfolgen. Die Arbeitsfolgen können zwar an unterschiedlichen Maschinen oder Arbeitsplätzen verrichtet werden, jedoch ist die Reihenfolge unveränderbar.

### 2.4.3 Einsatzbezogene Produktionstypen

Sind die programmbezogenen Produktionstypen outputorientiert, orientieren sich die einsatzbezogenen am Input. Inputfaktoren einer Produktion sind die 4M aus dem

---

<sup>46</sup> Vgl. Tempelmeier, Günther (2007), S. 12 ff.

<sup>47</sup> Mehrere Teile werden zu einem zusammengeführt (z.B. Zusammenbau)

<sup>48</sup> Aus einem Teil entstehen mehrere andere Teile (z.B. Sägen)

<sup>49</sup> Vgl. Tempelmeier, Günther (2007), S. 19 ff.

Faktormanagement (Material, Mensch, Maschine und Methode). Bei den einsatzbezogenen Produktionstypen wird nach

- dem Anteil der Einsatzgüterarten: materialintensiv, anlagenintensiv, arbeitsintensiv, informationsintensiv und der
- Konstanz der Güterqualität: werkstoffbedingt wiederholbar, Partieproduktion

unterschieden.<sup>50</sup>

Bei der Pleuefertigung handelt es sich um eine material- und anlagenintensive Produktion, welche werkstoffbedingt wiederholbar ist.

Nach Lödding<sup>51</sup> haben das Fertigungsprinzip und die Fertigungsart starken Einfluss auf die Fertigungssteuerung. Zusätzlich spielen in der Auswahl eines Fertigungssteuerungsverfahrens die Variantenzahl, die Materialflusskomplexität und die Schwankungen des Kunden- und Kapazitätsbedarfes eine große Rolle.

Je nach Produktionstyp und logistischen Zielvorgaben sind verschiedene Steuerungsmodelle geeignet, welche im folgenden Kapitel diskutiert werden.

## 2.5 Arten der Fertigungssteuerung

In diesem Kapitel wird auf die verschiedenen Arten der Fertigungssteuerung eingegangen.

Das Modell der Fertigungssteuerung nach Lödding, siehe Abbildung 6, zeigt den Zusammenhang zwischen den Größen der Fertigungssteuerung, welche je nach Art der Fertigungssteuerung verschieden gesetzt und beeinflusst werden.

---

<sup>50</sup> Vgl. Tempelmeir, Günther (2007), S. 22

<sup>51</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 95

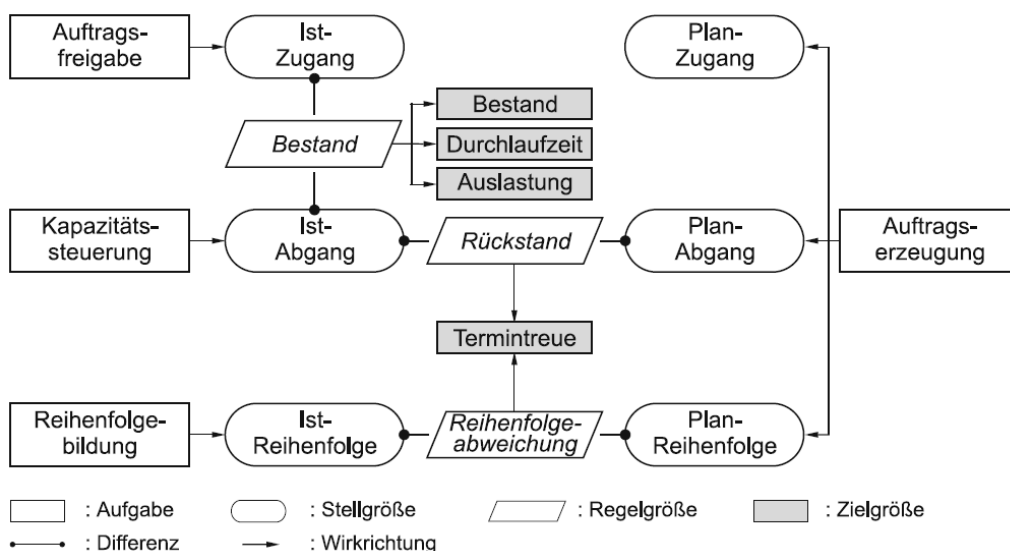


Abbildung 6: Modell der Fertigungssteuerung<sup>52</sup>

Die Auftragserzeugung gibt die geplanten Termine und Reihenfolgen grob vor. In der kurzfristigeren Planung muss jedoch auf die örtlichen Gegebenheiten Rücksicht genommen werden und es ist häufig der Fall, dass die Ist-Daten von den geplanten abweichen. Die Stellgrößen beeinflussen den Bestand, den Rückstand und die Reihenfolgeabweichungen in der Fertigung, welche wiederum auf die logistischen Zielgrößen wirken.<sup>53</sup>

In den folgenden Kapiteln werden die am häufigsten angewandten und beschriebenen Fertigungssteuerungsverfahren beschrieben.

### 2.5.1 Material Requirement Planning (MRP)

Die Fertigungssteuerung mittels MRP ist ein rein programmgesteuertes Push-System und ist zuständig für die Nettobedarfsrechnung im Zuge des Manufacturing Resource Plannings (MRP II), dessen Aufgaben bereits in Kapitel 2.3 beschrieben wurden. Es wird ausgehend vom Bruttobedarf an Fertigprodukten für alle Komponenten in der Stückliste, unter Berücksichtigung des Lagerbestandes und bereits eingeplanten Aufträgen, rückwärts terminiert. Das Ergebnis des Laufes ist eine Liste mit terminierten Fertigungsaufträgen. Die Losgrößenpolitik, die Planübergangszeiten, welche bei der Rückwärtsterminierung berücksichtigt werden sollen, und die Sicherheitsbestände

<sup>52</sup> Lödding (2008), S. 7

<sup>53</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 7 ff.

zwischen den einzelnen Dispositionsstufen sind wesentlich für die Planungsergebnisse. Abbildung 7 zeigt den schematischen Ablauf des MRP.<sup>54</sup>

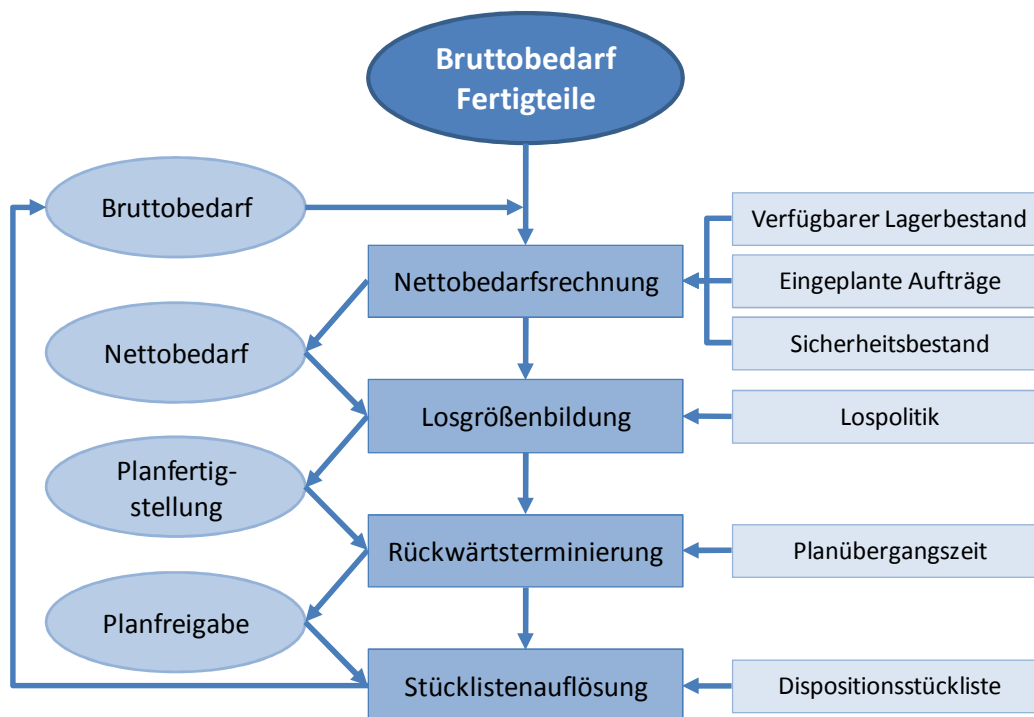


Abbildung 7: Illustration der vier MRP-Schritte<sup>55</sup>

Zur Deckung der Bruttobedarfe der Fertigteile wird die Nettobedarfsrechnung für die erste Dispositionsstufe der Stückliste durchgeführt. Unter Berücksichtigung der Lagerbestände, der bereits eingeplanten Aufträge und des Sicherheitsbestands wird der Nettobedarf ermittelt. Je nach Lospolitik werden dann die Nettobedarfe zusammengefasst und die gebildeten Lose rückwärts, anhand der Planübergangszeit, terminiert. Das Ergebnis ist der Planstarttermin für die Teile in der Fertigung. Im nächsten Schritt wird dann durch die Stücklistenauflösung für die nächste Dispositionsstufe der gleiche Prozess durchgeführt.<sup>56</sup>

Die Fertigungsaufträge für Pleuel werden bereits über den MRP-Lauf rückwärts in fixen Losgrößen terminiert und nach dem terminierten Auftragsstart freigegeben. Aufgrund der fehlenden Kapazitätsüberprüfung und falscher Übergangszeiten arbeitet der zuständige Meister nicht nach den vorgegebenen Terminen.

<sup>54</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S. 158

<sup>55</sup> Jodlbauer (2008), S. 161

<sup>56</sup> Vgl. Jodebauer (2008), S. 161 ff.

Die Steuerungsmethode kann bei fast allen Gegebenheiten in der Fertigung eingesetzt werden, in folgenden Fällen machen jedoch andere Methoden mehr Sinn:<sup>57</sup>

- C-Teil-Steuerung
- Geringer Aufwand für die Datenwartung ist gewünscht
- Eindeutiger Engpass ist gegeben
- Reduktion des Bestandes und der Durchlaufzeit haben Priorität

MRP wird in der Fertigung sehr häufig eingesetzt, trotz seiner Nachteile, dass er keine integrierte Kapazitätsbetrachtung durchführt, sehr rechenintensiv ist und je nach Losgrößenpolitik kleine Bedarfsschwankungen der Fertigteile, große Schwankungen in den untergeordneten Komponenten verursacht.<sup>58</sup>

## 2.5.2 KANBAN

Das Steuerungssystem KANBAN ist als Bestandteil des Toyota Production System bekannt geworden.<sup>59</sup> Es handelt sich um ein reines Pull-System, welches neben dem MRP das am meisten verwendete System im Montagebereich ist. In der Fertigung wird es jedoch seltener verwendet.<sup>60</sup>

Das Prinzip der KANBAN-Steuerung ist, dass jedes Arbeitssystem nur das produziert, was vom nachfolgenden tatsächlich verbraucht wird.<sup>61</sup> Ein wichtiges Instrument dafür sind die Steuerungskarten, welche in der japanischen Sprache KANBAN heißen und somit dem Verfahren seinen Namen geben, und die KANBAN-Behälter.<sup>62</sup>

Die Karten steuern den Materialfluss zwischen den Arbeitsstationen. Deren Anzahl dient außerdem der Regelung der Bestände in der Fertigung. Die Behälter sind der Zwischenlagerung und dem Transport von Teilen zwischen den Arbeitssystemen behilflich und über deren Größe wird auch die Fertigungslosgröße bestimmt. Für alle Zwischenprodukte ist ein Behältertyp mit einem bestimmten Fassungsvermögen vorgesehen und bei Materialentnahme aus einem Fertigteilpuffer wird der Regelkreis ausgelöst. Um neue Teile zu produzieren wird bei Entnahme ein leerer Behälter von der nachgelagerten Station gegen einen vollen aus der vorgelagerten Arbeitsstation ausgetauscht. Die KANBAN-Karte des leeren Behälters wird auf die Plantafel der vor-

---

<sup>57</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S. 319 ff.

<sup>58</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S. 181 f.

<sup>59</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 177

<sup>60</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S. 212

<sup>61</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 178

<sup>62</sup> Vgl. Kistner, Steven (2001), S. 306

gelagerten Arbeitsstation gesteckt. Das löst dort wiederum einem Produktionsauftrag aus und die Arbeitsstation hat den leeren Behälter mit der vorgegebenen Menge zu füllen.<sup>63</sup>

In folgender Abbildung wird die Steuerung mittels KANBAN visualisiert.

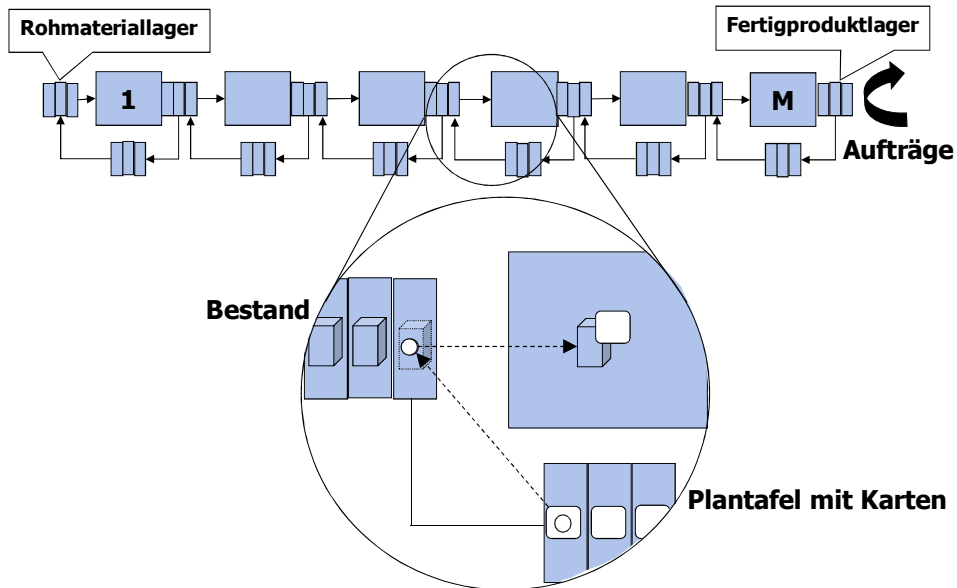


Abbildung 8: Funktionsweise KANBAN<sup>64</sup>

Die Steuerungsmethode ist jedoch nur unter folgenden Bedingungen einzusetzen:<sup>65</sup>

- Keine oder wenig und kurze Maschinenstörungen
- Kein oder wenig Ausschuss und Nacharbeit
- Geringe Rüstzeiten
- Geringe Verbrauchsschwankungen
- Geringe Variantenanzahl
- Abgestimmte und flexible Kapazitäten
- Lineare Materialflüsse<sup>66</sup>

KANBAN regelt mit der Anzahl und Größe der Behälter den Umlaufbestand, jedoch bindet es auch dauerhaft Lagerbestände, auch wenn der Kunde keinen Bedarf hat.

<sup>63</sup> Vgl. Kistner, Steven (2001), S. 305 ff.

<sup>64</sup> Tempelmeier, Günther (2007), S. 317

<sup>65</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S. 222

<sup>66</sup> Vgl. Dickmann (2009), S. 121

Bei dem nächsten beschriebenen Fertigungsverfahren wird der Bestand auch geregelt, jedoch sinkt er auch entsprechend der Kundenbedarfe.

### 2.5.3 Constant Work in Process (CONWIP)

CONWIP ist ein belastungsorientiertes Verfahren.<sup>67</sup> Die CONWIP-Steuerung regelt den Rohteilnachschiebung nach dem Pull-System, arbeitet innerhalb des Fertigungsbereiches jedoch nach dem Push-System.<sup>68</sup> Das Prinzip des CONWIP-Verfahrens ist, einen konstanten Umlaufbestand (WIP) sicherzustellen. Die wesentlichen Unterschiede zu KANBAN sind, dass der Bestand pro Fertigungsbereich und nicht pro Material gesteuert wird und dass sich der Steuerkreis nicht nur auf ein Arbeitssystem, sondern ebenfalls auf den gesamten Fertigungsbereich bezieht.<sup>69</sup>

Eine der wichtigsten Steuerungsgrößen ist der WIP-Grenzwert, er bestimmt ob ein neuer Produktionsauftrag eingelastet werden darf oder nicht. Erst wenn die Summe des aktuellen WIP-Bestandes und die des neuen Produktionsauftrages den WIP-Grenzwert nicht überschreiten, darf gestartet werden. Die zur Einlastung freigegebenen Aufträge sind bereits priorisierte Kunden- oder Lageraufträge, welche innerhalb des Vorgriffshorizontes liegen. Der Vorgriffshorizont ist eine Datumsgrenze, die vorgibt wie weit der Zieltermin (z.B. Liefertermin) in der Zukunft liegen darf. Innerhalb der Fertigung werden die Aufträge nach vorgegebenen Abarbeitungsregeln gesteuert. Über den Kapazitätstrigger unterstützt das CONWIP-System Planer in der Fragestellung ob Mehrkapazitäten notwendig sind. Der Kapazitätstrigger stellt die Grenze dar, wie viel Arbeitsinhalt maximal in einer Periode des Vorgriffshorizontes abgearbeitet werden kann.<sup>70</sup>

Steigt die Nachfrage höher als das maximale Kapazitätsangebot, wird der Bestand in der Fertigung gleich dem WIP-Grenzwert sein. In Abbildung 9 wird der Material- und Informationsfluss der CONWIP-Steuerung dargestellt.

---

<sup>67</sup> Jodlbauer (2008), S. 224

<sup>68</sup> Tempelmeier, Günther (2007), S. 319 f.

<sup>69</sup> Jodlbauer (2008), S. 224

<sup>70</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S. 226 ff.

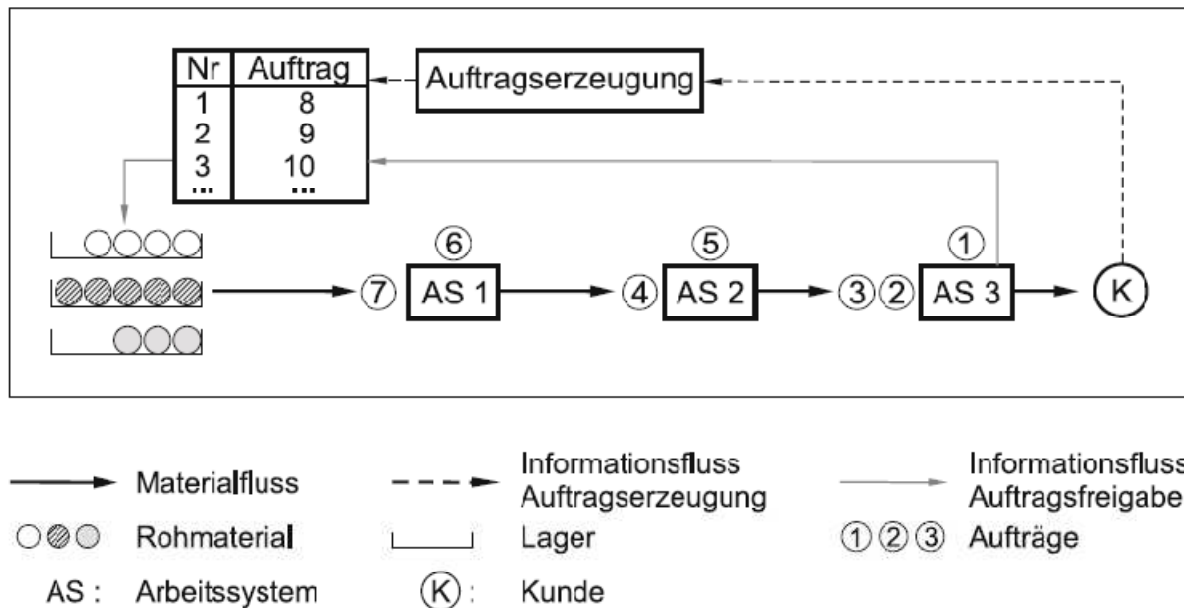


Abbildung 9: Prinzip der CONWIP-Steuerung<sup>71</sup>

In der schematische Darstellung in Abbildung 9 sind Auftrag 1-7 bereits in Bearbeitung und repräsentieren den WIP-Bestand. Die folgenden Aufträge in der Liste dürfen erst eingesteuert werden wenn dadurch die WIP-Grenze in der Fertigung nicht überschritten wird. Sobald der Auftrag 1 an den Kunden geliefert wurde, ist zu überprüfen ob die Einsteuerung eines weiteren Auftrages möglich ist ohne die WIP-Grenze zu übersteigen.

Diese Steuerungsmethode kann bei richtig ausgewählten Parametereinstellungen praktisch für jedes Produktionssystem verwendet werden. Besonders gut eignet sich CONWIP für die Fertigung unter folgenden Bedingungen:<sup>72</sup>

- Fertigung von Kundenaufträgen, da diese direkt für die Einlastung verwendet werden können
- Geringer Ausschuss und Nacharbeit

Die Vorteile gegenüber KANBAN sind, dass es für viele Varianten und Materialien verwendet werden kann. Bei Maschinenausfall werden hingegen noch so lange Aufträge eingesteuert, solange auch welche fertiggestellt werden.<sup>73</sup>

<sup>71</sup> Lödding (2008), S. 328

<sup>72</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S. 319 ff.

<sup>73</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S. 230 f.



## 2.5.4 Belastungsorientierte Auftragsfreigabe (BOA)

Die belastungsorientierte Auftragsfreigabe ist ein Verfahren, welches auf der Durchlaufterminierung ansetzt und im Gegensatz zum MRP Verfahren eine Beschränkung der Kapazitäten durch Aufträge, die sich bereits im Arbeitssystem befinden oder vor dem Arbeitssystem warten, berücksichtigt.<sup>74</sup>

Das BOA Verfahren wird in folgenden Schritten durchgeführt:<sup>75</sup>

1. Dringlichkeitsprüfung: Bis zu einem gewählten zeitlichen Vorgriffshorizont werden die Aufträge als dringlich eingestuft und bei der Freigabeprüfung berücksichtigt.
2. Freigabeprüfung: Die Freigabe beginnt mit einer Belastungsrechnung für die einzelnen Aufträge auf den Arbeitsstationen, die sie durchlaufen. Ein Auftrag kann nur freigegeben werden, wenn die Belastungsgrenze an allen zu durchlaufenden Arbeitsstationen durch bereits freigegebene Aufträge nicht überschritten ist. So wird sicher gestellt, dass Aufträge nur dann freigegeben werden, wenn auf allen benötigten Arbeitsstationen genügend Kapazitäten frei sind. Das Bestandskonto der ersten Arbeitsstation eines Auftrages wird bei diesem Verfahren mit der vollen Auftragszeit belastet, bei den nachgelagerten Arbeitssystemen wird bei der Belastung ein Abzinsungsfaktor in der Auftragszeit berücksichtigt. Um den Abzinsungsfaktor wird die eigentliche Belegungszeit eines Auftrages an einer Arbeitsstation verringert.

In Abbildung 10 werden die Material- und Informationsflüsse der BOA dargestellt.

---

<sup>74</sup> Vgl. Schneider et al. (2001), S. 118 f.

<sup>75</sup> Vgl. Wiendahl (1997), S. 353 ff.

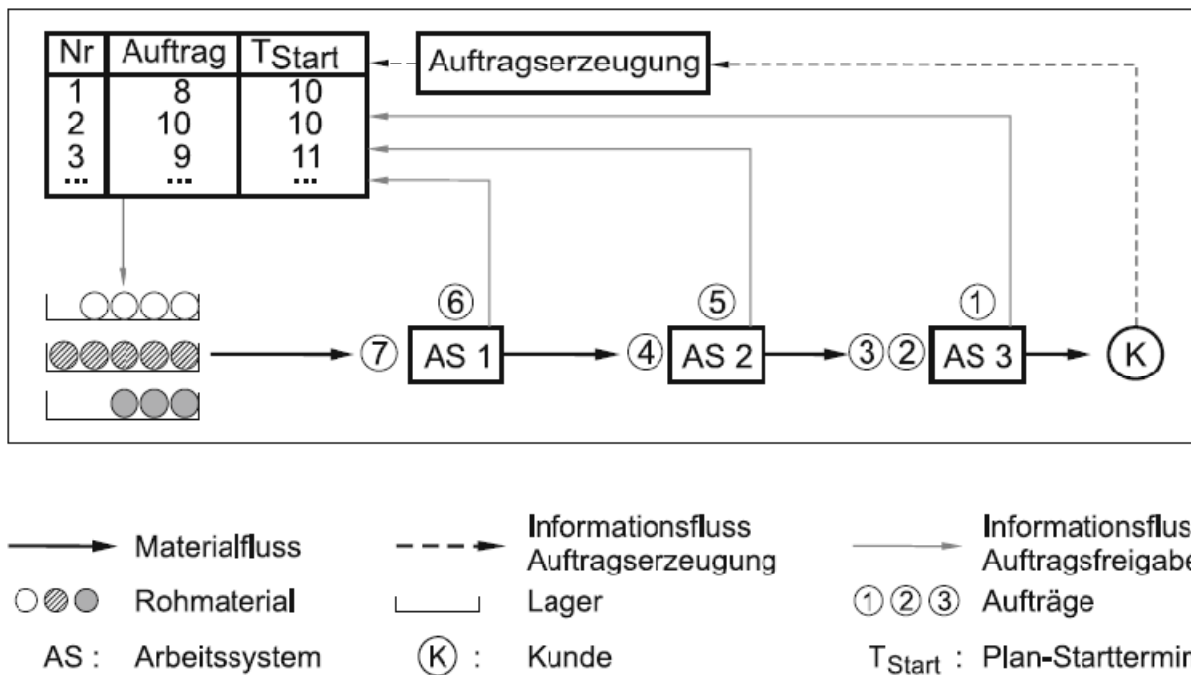


Abbildung 10: Prinzip der BOA<sup>76</sup>

In dieser Abbildung sind Auftrag 1-7 in der Fertigung in Bearbeitung. Jeweils nach der Fertigstellung eines Auftrages an einer Arbeitsstation wird überprüft, ob einer oder mehrere der freigegebenen Aufträge, unter Berücksichtigung der Bestandsgrenzen an den zu durchlaufenden Arbeitsstationen, eingesteuert werden darf oder nicht.

Die BOA wird unter folgenden Bedingungen bevorzugt eingesetzt:

- hohe Streuung der Anzahl von Arbeitsvorgängen und Auftragszeiten
- Aufträge konkurrieren um Kapazitäten
- Einzel- und Kleinserienfertigungen
- Fertigung nach Werkstättenprinzip

Für den Einsatz der BOA sind nur etwa 30% der am Markt angebotenen PPS-Systeme geeignet.<sup>77</sup>

### 2.5.5 Engpasssteuerung

Die Engpasssteuerung basiert darauf, dass ein Auftrag freigegeben wird, sobald die Engpasseinheit einen Auftrag fertig gestellt hat. Bei dieser Steuerungsart wird die Fertigung in zwei Bereiche geteilt: in den bestandsgeregelten Teil bis einschließlich zum

<sup>76</sup> Lödding (2008), S. 374

<sup>77</sup> Vgl. Wiendahl (1997), S. 339 f.

Engpassarbeitssystem und einem nicht bestandsregulierten Teil nach dem Engpassarbeitssystem.<sup>78</sup>

Die Engpasssteuerung ist der CONWIP-Steuerung sehr ähnlich und wählt ebenfalls den dringendsten Auftrag aus einer Liste zur nächsten Freigabe. Ein Vorgriffshorizont kann bestimmt werden und eine Möglichkeit den Bestand vor der Engpasseinheit zu regulieren ist es, den Bestand über die Vorgabezeit zu bestimmen. In folgender Abbildung wird das Prinzip kurz dargestellt.

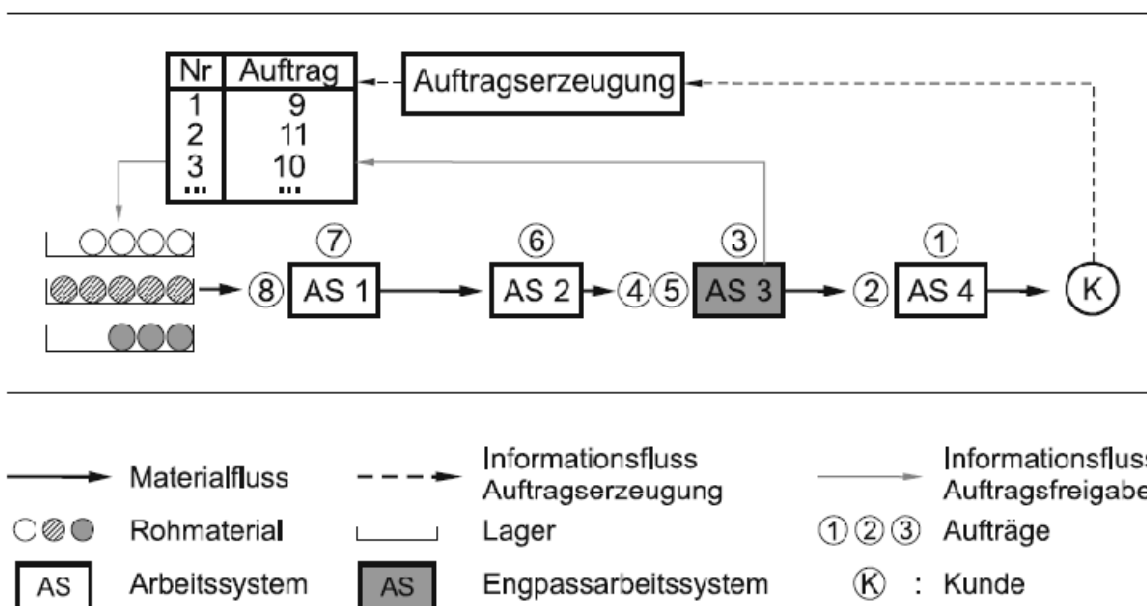


Abbildung 11: Prinzip der Engpasssteuerung<sup>79</sup>

In Abbildung 11 sind die Aufträge 1-8 bereits in Bearbeitung, wird ein Auftrag an der Engpassarbeitsstation fertig gestellt, kann der Auftrag 9 eingesteuert werden, ohne Berücksichtigung anderer Arbeitsstationen oder des gesamten WIP-Bestandes.

Die Engpasssteuerung wird in der Literatur unter unterschiedlichen Bezeichnungen beschrieben und ist der Drum, Buffer, Rope (DBR) Steuerung ähnlich.<sup>80</sup>

Bei dieser Steuerungsart wird ein eindeutiger Engpass in der Fertigung vorausgesetzt, ansonsten hat sie die gleichen Vorteile und Anwendungsbereiche wie die CONWIP-Steuerung.<sup>81</sup>

<sup>78</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 339

<sup>79</sup> Lödding (2008), S. 340

<sup>80</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 339

<sup>81</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 350

Zum Abschluss wird aus dem Zusammenhang zwischen der Fertigungsart und den Vor- und Nachteilen der Steuerungsmethoden, die für die Pleuefertigung geeignete Steuerungsmethode, gewählt.

## 2.6 Auswahl der geeigneten Fertigungssteuerung

Im ersten Schritt zur Auswahl eines geeigneten Fertigungssteuerungssystems werden die ABC und XYZ-Analyse herangezogen. Je nach Wertigkeit der Produkte (A = hoch, B = mittel, C = gering) und deren Verbrauchsmuster (X = regelmäßig, Y = schwankungen, Z = unregelmäßig) sind einzelne Steuerungsverfahren besser oder schlechter geeignet, wie folgende Abbildung zeigt.

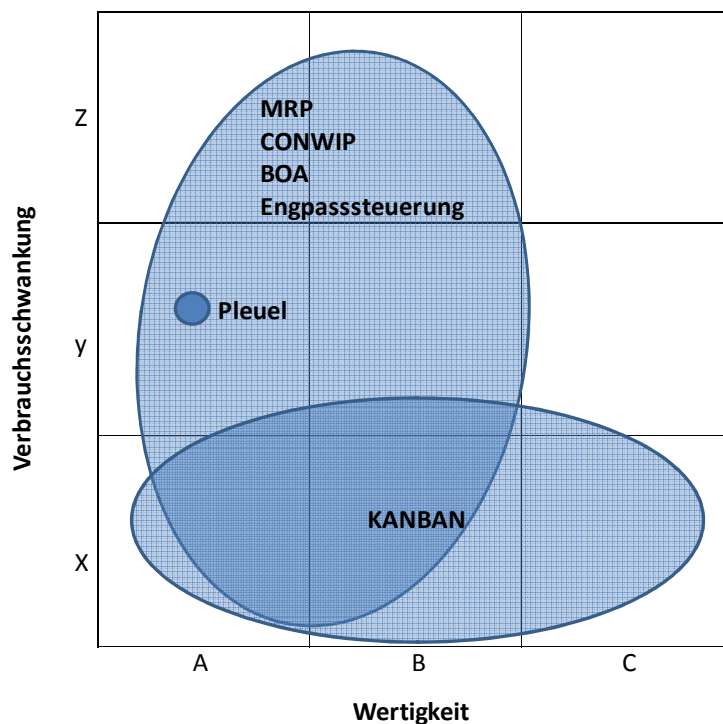


Abbildung 12: Einteilung der Steuerungsarten nach ABC und XYZ Analyse<sup>82</sup>

Die KANBAN Steuerung ist vor allem bei sehr konstantem Verbrauch einsetzbar. In der Pleuefertigung sind jedoch immer wieder starke Absatzschwankungen über das Jahr verteilt erkennbar. Somit bewirkt eine Anpassung von KANBAN an einen hohen Bedarf sehr viel unnötigen Bestand in der Fertigung und das bedeutet aufgrund der

<sup>82</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S. 268

hohen Wertigkeit der Pleuel viel gebundenes Kapital.<sup>83</sup> Bei einer geringeren Auslegung des KANBAN Regelkreises würde jedoch die Liefertreue stark leiden, welche höchste Priorität hat, da der Hauptkunde die Montage ist und eine verspätete Lieferung den Montagestart verzögert.

Weitere Ausschlussgründe für die KANBAN-Steuerung sind, dass komplexe Fertigungspfade über viele Stufen vorliegen und diese damit nur schwer abgebildet werden können, dass lange Rüstzeiten an den Maschinen notwendig sind und dass die Pleuefertigung eine Insel ist, in der das Werkstattprinzip vorherrscht.

In der Pleuefertigung ist kein eindeutiger Engpass bekannt. Der Engpass variiert mit dem Produktmix und kann durch die Verwendung von alternativen Arbeitsstationen oft ausgeglichen werden. Die Engpasssteuerung setzt einen Engpass voraus und kann nicht oder nicht passend mit dynamischen Engpässen umgehen, weshalb diese für die Pleuefertigung nicht geeignet ist.<sup>84</sup>

Der MRP Lauf wird bereits eingesetzt, jedoch werden mit diesem die logistischen Zielsetzungen nicht ausreichend erreicht, es erfolgt keine Betrachtung der Kapazitäten und es wird nicht materialflussorientiert gearbeitet.

Zur Verringerung der Bestände und Durchlaufzeiten können die verbleibenden zwei Methoden Abhilfe bieten. CONWIP und BOA sind bestandsregulierende Verfahren, was für eine materialintensive Fertigung wichtig ist und beziehen auch die gegebenen Kapazitäten in ihre Steuerung mit ein. Sie sind für Einzel- und Kleinserienfertigungen geeignet und können ungeachtet der Varianten und Teilevielfalt für die Fertigungssteuerung angewendet werden.<sup>85</sup>

Beim Vergleich der verbleibenden Methoden, wird deutlich, dass die Anzahl der einzustellenden Parameter und der Einsatz der Steuerung von CONWIP weit weniger komplex sind als jener der BOA. Ohne ein unterstützendes ERP oder genauer gesagt Manufacturing Execution Systems (MES) ist der Steuerungsaufwand für die BOA sehr hoch.

In dieser Arbeit wird ein Steuerungstool gesucht, welches mit einfachen und transparenten Mitteln den Meister in seiner täglichen Arbeit unterstützt. Die CONWIP-Steuerung scheint, nach ausführlicher Untersuchung der Steuerungsinstrumente, am

---

<sup>83</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S. 223

<sup>84</sup> Vgl. Lödding (2008), S. 350

<sup>85</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S. 319 ff.

besten geeignet zu sein, ausgehend von der aktuellen Auftragslage, die Steuerung in der Pleuefertigung zu unterstützen.

Da die Pleuefertigung eine Fertigungsinsel mit einem sehr komplexen Materialfluss ist und keine Erfahrungen mit bestandsregelnden Steuerungsverfahren vorhanden sind, wurde entschlossen, mit Hilfe einer Materialflusssimulation diese Entscheidung zu validieren.

Im folgenden Kapitel werden die Grundlagen und Anwendungsgebiete der Materialflusssimulation erläutert, was auch der Erklärung dient, warum dieses Werkzeug eingesetzt wurde.

### 3 Fabrik- und Materialflusssimulation

Die Fabrik- und Materialflusssimulation wird in dieser Arbeit zum Vergleich der aktuellen Fertigungssteuerung mit der ausgewählten neuen Steuerungsmethode durch CONWIP herangezogen.

Simulationsmodelle werden vermehrt zur Problemlösung und als Hilfe zur Entscheidungsfindung eingesetzt.<sup>86</sup> Der vermehrte Einsatz ist auf die wirtschaftlichen Tendenzen, wie z.B. der steigenden Produktkomplexität und Variantenvielfalt, den steigenden Kostendruck, der sinkenden Losgrößen und den steigenden Konkurrenzdruck zurückzuführen. Je komplexer und schnelllebiger das System, umso wichtiger werden Simulationen, da mit einfachen Methoden kein brauchbares Ergebnis erzielt werden kann.<sup>87</sup>

Bei der für diese Arbeit verwendeten Simulation handelt es sich um eine diskrete, ereignisorientierte Simulation. Bei dieser Art der Simulation basieren die Modellergebnisse auf den Wechselwirkungen zwischen den Komponenten, welche durch Ereignisse zu diskontinuierlichen Zeitpunkten den Systemzustand ändern.<sup>88</sup>

In diesem Kapitel werden zuerst die wichtigsten Begriffe definiert und anschließend die Anwendungsgebiete der Materialflusssimulation, sowie deren Vor- und Nachteile beschrieben. Im letzten Unterkapitel wird auf die einzelnen Schritte zur Erstellung einer Simulation eingegangen.

#### 3.1 Begriffsdefinitionen

Um ein gemeinsames Verständnis der verwendeten Begriffe zu gewährleisten, werden diese kurz erläutert.

##### **Simulation:**

„Simulation ist das Nachbilden eines Systems mit seinen dynamischen Prozessen in einem experimentierbaren Modell, um zu Erkenntnissen zu gelangen, die auf die Wirklichkeit übertragbar sind. Insbesondere werden die Prozesse über die Zeit entwickelt. Im weiteren Sinne wird unter Simulation das Vorbereiten, Durchführen und Auswerten gezielter Experimente mit einem Simulationsmodell verstanden.“<sup>89</sup>

---

<sup>86</sup> Vgl. Sargent (2005), S. 130

<sup>87</sup> Vgl. Bangsow (2008), S. 9

<sup>88</sup> Vgl. Carson (2005), S. 16

<sup>89</sup> Bangsow (2008), S. 10

**System:**

„Ein System wird definiert als eine abgegrenzte Anordnung von Komponenten, die miteinander in Beziehung stehen.“<sup>90</sup>

**Modell:**

„Ein Modell ist eine vereinfachte Nachbildung eines geplanten oder real existierenden Systems mit seinen Prozessen in einem anderen System. Es unterscheidet sich hinsichtlich der untersuchungsrelevanten Eigenschaften nur innerhalb eines vom Ziel abhängigen Toleranzrahmens vom Original.“<sup>91</sup>

**Simulationslauf:**

„Ein Simulationslauf ist die Nachbildung des Verhaltens des Systems in einem ablauf-fähigen System über eine bestimmte Zeit hinweg.“<sup>92</sup>

**Experiment**

„Ein Experiment ist die gezielte empirische Untersuchung des Verhaltens eines Modells durch wiederholte Simulationsläufe mit systematischer Parametervariation.“<sup>93</sup>

## 3.2 Anwendungsgebiete, Vor- und Nachteile

Die Simulation ist ein mächtiges Werkzeug für die Analyse und Bewertung neuer Systeme, für Anpassungen in bestehenden Systemen und Vorschläge zur Veränderung der Steuerung oder Prozesse.<sup>94</sup>

Simulationen können in verschiedenen Phasen von Nutzen sein:<sup>95</sup>

**Planungsphase:**

- Engpassidentifizierung
- Erkennen ungenutzter Potenziale
- Vergleich von Planungsvarianten
- Parametertests (Kapazität, Leistungsgrenzen, Durchsatz, Bestandsbildung, ...)

---

<sup>90</sup> Bangsow (2008), S. 10

<sup>91</sup> Bangsow (2008), S. 10

<sup>92</sup> Bangsow (2008), S. 10

<sup>93</sup> Bangsow (2008), S. 10

<sup>94</sup> Vgl. Carson (2005), S. 16

<sup>95</sup> Bangsow (2008), S. 9 f.



**Realisierungsphase:**

- Durchführung von Leistungstests
- Problemanalysen
- Einarbeitung der Mitarbeiter
- Simulation des An- und Abfahrverhaltens

**Betriebsphase:**

- Tests von Steuerungsalternativen
- Überprüfung von Störfallprogrammen
- Einweisung neuer Mitarbeiter
- Auftragseinplanung und Ermittlung wahrscheinlicher Liefertermine

Folgende Auflistung gibt einen Anhaltspunkt dafür, wann es sinnvoll ist eine Simulation einzusetzen:<sup>96</sup>

- Es besteht kein einfaches analytisches Modell, welches die Situation im benötigten Maß abbildet.
- Das reale System ist nicht chaotisch, d.h. die Systemkomponenten und deren Wechselwirkungen sind bekannt.
- Das reale System ist so komplex, dass Abhängigkeiten schwer zu erkennen sind und die Auswirkungen von Veränderungen nicht abgeschätzt werden können.
- Das System soll neu gestaltet werden, wobei große Veränderungen im Layout oder der Steuerung vorgenommen oder andere Bedarfe berücksichtigt werden.
- Es muss eine Investitionsentscheidung getroffen werden.
- Es wird ein Werkzeug benötigt, welches hilft ein Verständnis für ein System zu gewinnen und dieses auch zu visualisieren.

Trotz der vielseitigen Einsatzmöglichkeiten ist die Simulation eines Systems mit Vorsicht zu genießen. Bei allen Möglichkeiten und Vorteilen die sie bietet, dürfen die Gefahren und Nachteile nicht vergessen werden. In folgender Tabelle werden die wichtigsten Vor- und Nachteile aufgezählt.

---

<sup>96</sup> Vgl. Carson (2005), S. 17 f.

**Tabelle 1: Vor- und Nachteile von Simulationen<sup>97</sup>**

<b>Vorteile</b>	<b>Nachteile</b>
Alternativen und Möglichkeiten im Modell und nicht in der Realität testen	Die Erstellung von Simulationen ist langwierig und teuer
Aufzeigen von Problemen, Engpässen oder Fehlplanungen	Die Daten sind nicht oder nur sehr schwer ermittelbar
Absicherung von Investitionsentscheidungen	Verwechslung zwischen Realität und Simulationsmodell
Verständnis für komplexe und dynamische Systeme gewinnen	Ergebnisse möglicherweise nur schwer interpretierbar
Systemzusammenhänge identifizieren und untersuchen	Blindes Vertrauen in Simulationsmodelle

Um eine Simulation jedoch möglichst sinnvoll einzusetzen, muss deren Erstellung gründlich geplant sein, wie im folgenden Kapitel beschrieben wird.

### 3.3 Ablauf

Nach der VDI-Richtlinie 3633 wird empfohlen für die Durchführung einer Simulation wie in folgender Auflistung beschrieben, vorzugehen:<sup>98</sup>

#### 3. Problemformulierung

Die Anforderungen an die Simulation sollten vom Auftraggeber definiert oder zumindest zusammen mit diesem erarbeitet werden. Die Problemformulierung sollte schriftlich festgehalten werden.

#### 4. Prüfung der Simulationswürdigkeit

Die Kriterien für den sinnvollen Einsatz einer Simulation wurden im Kapitel 3.2 diskutiert.

<sup>97</sup> Vgl. Carson (2005), S. 18

<sup>98</sup> Vgl. Bangsow, S. 10 ff.

## 5. Zielformulierung

Die häufigsten Zielstellungen für Simulationen sind Durchlaufzeit- und Bestandsminimierungen, Auslastungsmaximierungen und die Erhöhung der Termintreue. Die definierten Zielgrößen müssen am Ende der Simulationsläufe statistisch erhoben werden. In dieser Phase wird auch der Detaillierungsgrad und Umfang der Simulation bestimmt und somit die Kosten.

## 6. Aufnahme der Ist-Daten

Es müssen folgende Daten erhoben werden:

Technische Daten: Wege, Flächen, Kapazitäten, Fördermittel, Verfügbarkeiten

Organisationsdaten: Schichtmodelle, Werker, Maschinen, Restriktionen

Systemlastdaten: Arbeitspläne, Stücklisten, Termine, Mengen, Aufträge

## 7. Modellerstellung

Die Modellierung beinhaltet den Aufbau des Simulationsmodells unter Berücksichtigung der Problem- und Zieldefinition. Es fällt die Entscheidung wo die Systemgrenzen gesetzt werden, wie und welche Aspekte vereinfacht oder nicht dargestellt werden. Mit einer geeigneten Software wird in dieser Phase das Simulationsmodell aufgebaut und getestet. Wichtig ist, dass der Aufbau auch dokumentiert wird um auch später Änderungen vornehmen zu können.

## 8. Durchführung der Simulationsläufe

Anhand eines aufzustellenden Versuchsplanes sind die Experimente durchzuführen. Eingangs- und Ausgangsdaten sowie die Parametereinstellungen sind zu dokumentieren.

## 9. Ergebnisanalyse und Interpretation

Aus den Ergebnissen der einzelnen Simulationsläufe sollen Maßnahmen abgeleitet werden, welche das simulierte System verbessern. Es ist zu beachten, dass die Simulation nicht exakt das reale System abbildet. Es ist zu validieren ob der Detaillierungsgrad richtig gewählt wurde. Wenn nicht, ist der Prozess ab Schritt 3 zu wiederholen.

## 10. Dokumentation

Die Dokumentation sollte einen Überblick über die durchgeführten Simulationsläufe und deren zeitlichen Verlauf geben. Es wird empfohlen die abgeleiteten Maßnahmen und Ergebnisse, sowie den Modellaufbau und die Funktionalitäten zu dokumentieren

Nachdem die theoretischen Grundlagen zu den relevanten Themen, wie der Fertigungssteuerung und der Materialflusssimulation erarbeitet wurden, wird im praktischen Teil der Arbeit auf das Umfeld und die Pleuefertigung an sich eingegangen.

## 4 Fertigungssteuerung in der Pleuefertigung

Zu Beginn dieses Kapitels wird kurz auf den MAN Konzern und die MAN Diesel & Turbo SE (MDT) eingegangen und das Projekt, aus welchem diese Masterarbeit entstanden ist, vorgestellt.

Im zweiten Teil werden alle Prozesse beschrieben, die zum Verständnis der Aufgabenstellung und Bearbeitung dienen, mit dem Fokus auf die Pleuefertigung. Weiters wird erläutert, wie bei der Analyse der Fertigung vorgegangen wurde und zusammenfassend auf die bereits in der Einleitung erwähnten Problemfelder eingegangen.

### 4.1 Unternehmens- und Projektvorstellung

Alle Informationen dieses Kapitels stammen aus unternehmensinternen Präsentationen und Berichten.

#### 4.1.1 MAN SE

Obwohl die Erfolgsgeschichte der MAN Gruppe bereits im Jahr 1857 startete, ist der Bau des ersten funktionstüchtigen Dieselmotors durch Rudolf Diesel im Jahr 1897 wohl die bekannteste Errungenschaft des Konzerns.

Heute gehört die MAN Gruppe in den Bereichen Nutzfahrzeuge, Motoren- und Maschinenbau zur Marktspitze Europas mit einem jährlichen Umsatz von rund 12 Mrd. Euro. In den 120 Ländern, in welchen MAN aktiv ist, werden insgesamt 47 000 Mitarbeiter angestellt, mehr als die Hälfte von ihnen in Deutschland.

Die MAN-Gruppe teilt sich in zwei Sparten, wie Abbildung 13 zu entnehmen ist.



Abbildung 13: Darstellung MAN SE<sup>99</sup>

<sup>99</sup> unternehmensinterne Quelle (2010)

Die Masterarbeit wird in Kooperation mit dem Tochterunternehmen der MAN Gruppe, MAN Diesel & Turbo, in der Geschäftseinheit Produktion (W) im Werk Augsburg verfasst, welche in den folgenden Unterkapiteln vorgestellt werden.

### MAN Diesel & Turbo SE

Die MDT ist ein Teilkonzern des Geschäftsfeldes Power Engineering der MAN Gruppe und ihr Hauptsitz ist in Augsburg.

Die Tätigkeitsbereiche der verschiedenen Geschäftseinheiten (GE) von MDT erstrecken sich über den Bau von Zwei- und Viertaktmotoren für den Einsatz in Schiffen und Kraftwerken (GE Engines & Marine Systems), Kompressoren, Turbinen und chemische Reaktoren (GE Turbo Machinery), der Planung, Wartung und dem Betrieb von schlüsselfertigen Kraftwerken (GE Powerplants) bis hin zu den After-Sales-Dienstleistungen, wie Reparatur, Ersatzteilversorgung, Nachrüstung, Monitoring und Recycling aller MAN-Großdieselmotoren und Turbomaschinen (GE Aftersales).

MDT beschäftigte 2010 fast 12 500 Mitarbeiter und erwirtschaftete einen Umsatz von rund 3,7 Mrd. Euro. Die 14 Produktionsstandorte teilen sich auf 8 Länder in Europa und Asien auf wie Abbildung 14 zeigt.

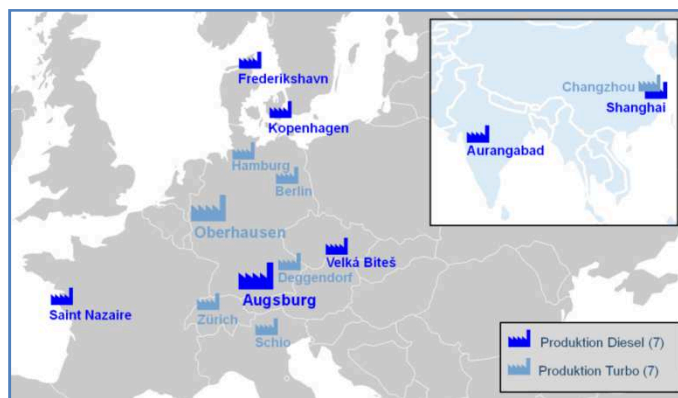
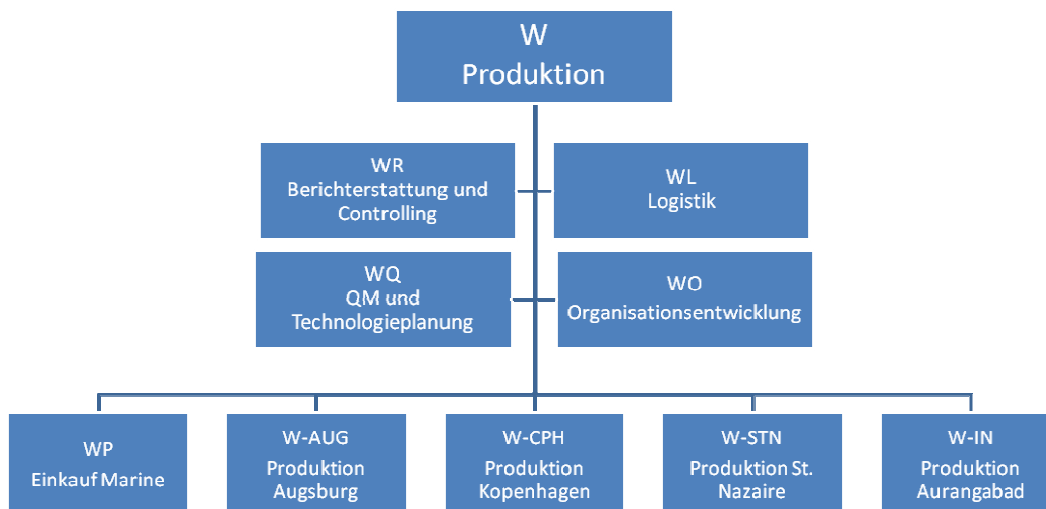


Abbildung 14: Produktionsstandorte MDT<sup>100</sup>

### 4.1.2 Produktion

Die Geschäftseinheit Produktion (W) ist zuständig für die Produktion und Montage an allen Standorten, sowie für die Supportprozesse, welche sich aus Einkauf, Logistik, Berichterstattung und Controlling, Qualitätsmanagement und Organisationsentwicklung zusammensetzen.

<sup>100</sup> Unternehmensinterne Quelle (2010)



**Abbildung 15: Organigramm Business Unit W<sup>101</sup>**

Die Masterarbeit wird in der Abteilung Zentrallogistik (WL), genauer in der Unterabteilung Logistik Prozessentwicklung (WLP), in Zusammenarbeit mit der Fertigung Augsburg (WM-AUG) und deren mechanischen Bearbeitung (WMM-AUG) am Standort Augsburg verfasst. Die Aufgaben und Verantwortungsbereiche der Abteilungen werden in den nächsten Absätzen näher betrachtet.

### Zentrallogistik

Die Zentrallogistik ist zuständig für den gesamten Planungsablauf und die Zusammenführung der Prognosen aller Verkaufseinheiten, den Kapazitätsabgleich der verschiedenen Produktionsstandorte, den Einsatz von Best-Practice-Methoden in der Logistik und der Berichterstattung der aufgezählten Tätigkeiten.

WLP im Speziellen ist standortübergreifend für die Planung der Logistikprozesse verantwortlich. Die Abteilung ist Treiber und Koordinator von Verbesserungsprojekten zur Optimierung des Material- und Informationsflusses.

<sup>101</sup> Unternehmensinterne Quelle (2011)

Die Aufgaben erstrecken sich über:

- Prozessplanung und -gestaltung
- Materialfluss- und Wertstromanalysen
- Optimierung der logistischen Flüsse (Material, Information und Kosten)
- Gestaltung und Standardisierung der Belieferungs- und Bereitstellungsprozesse
- Schnittstelle der Logistik zum IT-Bereich
- Unterstützung bei diversen Projekten der Business Unit W

### **Fertigung Augsburg**

In Augsburg werden 4-Takt-Motoren für Schiffe und Kraftwerke hergestellt, sowie Komponenten und Ersatzteile für andere Standorte und Geschäftseinheiten.

Die Kernkompetenzen liegen in folgenden Aufgabengebieten

- Guss von Zylinderkurbelgehäusen und Zylinderköpfen
- Großteilebearbeitung
- Mechanische Bearbeitung von Einspritzpumpen, Ventilen, Pleuel und Zylinderköpfen
- Motormontage mit anschließendem Testlauf am Prüfstand
- Logistik für die Teilebereitstellung

Im Anhang A ist ein Organigramm zur Orientierung angefügt.

In der **mechanischen Bearbeitung** werden die wichtigsten Komponenten für den Motorenbau, Service, Lizenz und die Entwicklung gefertigt. Insgesamt verfügt die Abteilung über rund 100 CNC gesteuerte Maschinen und 400 Mitarbeitern, welche in drei Schichten eingesetzt werden.

Die Aufgaben der Abteilung Arbeitsvorbereitung (WMM1-AUG), besonders der Leitstand (WMM11-AUG) und die Prozessplanung (WMM12-AUG), werden noch kurz beschrieben, da in den folgenden Kapiteln immer wieder auf diese eingegangen wird. Die Pleuefertigung (WMM4-AUG) wird im Kapitel 4.3 genau diskutiert.

Der **Leitstand** ist für die Überwachung der termingerechten Auslieferung der Hausteile an die nachgelagerten Abteilungen (Montage Augsburg, Montage SEMT, PrimeServ, Lizenznehmer, Fredrikshavn) verantwortlich. Weiters werden sämtliche Reklamationen von Terminverzügen beim Ausgangsmaterial, die Abwicklung kapazitiver und technischer Auswärtsvergaben und die Kommunikation mit vor- und nachgelagerten Abteilungen über den Leitstand abgewickelt.



Die **Prozessplanung** ist zuständig für die Erstellung von kosten- und qualitätsoptimalen Fertigungsarbeitsplänen mit allen erforderlichen Informationen für den Motorenbau, die Festlegung von optimalen Produktionsmaschinen und –anlagen sowie die Auswahl der Betriebsmittel und der Bedarfsbeurteilung von neuen computerunterstützten Maschinensteuerungsprogrammen.

Nachdem das Unternehmen und die Abteilungen in denen gearbeitet wurden, vorgestellt wurden, erläutert das folgende Kapitel das ursprüngliche Projekt, aus welchem schon viele Problemfelder im Auftragsabwicklungsprozess hervorgegangen sind. Dieses Projekt war auch Auslöser für den Auftrag die Planung und Steuerung in der Pleuefertigung im Rahmen einer Masterarbeit genauer zu untersuchen.

## 4.2 Projekt Optimierte Auftragssteuerung (OAS)

Informationen zu diesem Projekt wurden hauptsächlich dem Projektbericht der OAS<sup>102</sup> und anderen unternehmensinternen Quellen entnommen.

Das Projekt OAS verfolgt das Ergebnis den Auftragsabwicklungsprozess zu optimieren, mit dem Ziel den Planungsaufwand in der gesamten Produktion zu verringern, kürzere Durchlaufzeiten zu erreichen und mehr Transparenz in der Produktion zu schaffen. Das Projekt, durchgeführt mit der Unterstützung des Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), gliederte sich in zwei wichtige Phasen, der Analyse der aktuellen Prozesse und der Maßnahmenplanung für die aufgedeckten Schwachstellen in den Prozessen.

### 4.2.1 Projektverlauf

In der Analysephase wurde zunächst der Auftragsabwicklungsprozess aufgenommen und mittels Ablaufdiagramm dargestellt. Die Darstellung kann im Anhang B eingesehen werden, auf die Prozesse werden in Kapitel 4.5 genauer eingegangen, deswegen wird an diesem Punkt auf eine detaillierte Beschreibung verzichtet. Die Prozessdarstellung geht über drei Planungsebenen, welche in folgender Tabelle gezeigt werden.

---

<sup>102</sup> Vgl. Unternehmensinterne Quelle (2010)

**Tabelle 2: Planungsebenen der Aufträge<sup>103</sup>**

<b>Planungsebene 1: Mittelfristige Planung</b>	<b>Planungsebene 2: Operative Planung</b>	<b>Planungsebene 3: Auftragsabwicklung</b>
• Motorprogrammplanung	• Disposition • Planung und Steuerung (Montage)	• Technik • Stücklistenstelle • Disposition • Leitstand • Steuerung (Pleuel) • Arbeitsplanung • Änderungsleitstand • Planung und Steuerung (Montage)

Als Referenzbereich für die Fertigungssteuerung wurde die Pleuefertigung herangezogen. Der genaue Abwicklungsprozess in Bezug auf die Pleuefertigung wird ebenfalls im Kapitel 4.5 beschrieben.

Anhand der Prozessaufnahme und Workshops mit den Prozessverantwortlichen und Mitarbeitern, die täglich mit den Prozessen in Berührung kommen, wurden die wichtigsten Problemfelder in den drei Planungsebenen ausgearbeitet. Schwachstellen sind u. A.:

- Keine Berücksichtigung von Service-, Forschungs- und Entwicklungsbedarfen in der Langfristplanung
- Nur Grobkapazitätsplanung, keine einheitliche Kapazitätsprüfung und Kapazitätsabstimmung in der Bedarfsplanung
- Rückwärtsterminierung in die Vergangenheit ohne daraufhin vorwärts zu terminieren um realistische Liefertermine zu erzeugen
- Kurzfristige Änderungen der Montagetermine
- Heterogene Liefermengenanforderungen erzeugen einen hohen Planungsaufwand in der Pleuefertigung

Aus den identifizierten Stolpersteinen der einzelnen Auftragsplanungsebenen wurden u. A. Anforderungen an die zukünftige Feinplanung abgeleitet.

Parallel zur Untersuchung des Auftragsabwicklungsprozesses erfolgte eine Auswertung der Funktionalitäten des bereits abgelösten, alten Fertigungssteuerungssystems,

<sup>103</sup> Vgl. unternehmensinterne Quelle (2010)

welche nicht relevant für diese Masterarbeit sind und eine Analyse mittels Wertstrom in der Pleuefertigung.

Bei der Analyse ist man zu folgenden Erkenntnissen gelangt:

- Die Push-Logik der Auftragseinstellung erzeugt hohe und vor allem stark schwankende Bestände vor den Ressourcen
- Nicht bedarfsgerechte Losgrößen führen zu erhöhtem Dispositionsaufwand (Umwidmung) und zu längeren Durchlaufzeiten

Folgende Empfehlungen um diese Probleme zu beheben wurden gegeben:

- Bestellung und Einstellung der Pleuel in Bedarfslosgröße (Anzahl Zylinder Motor + evtl. Zusatzbedarf)
- Losweise Weitergabe der Pleuel zur Vermeidung von Reihenfolgevertauschung durch FIFO-Linien
- Maximal drei Tage Bestand vor der Abnahme<sup>104</sup> (bei aktueller Abnahmefrequenz<sup>105</sup>)

Bei der Analyse und Lösungsfindung wurde zu wenig auf die örtlichen Gegebenheiten eingegangen und deswegen die Empfehlungen nicht umgesetzt.

Bei Abschluss des Projektes hat sich ebenfalls herausgestellt, dass die Ergebnisse aus der Analyse in der Pleuefertigung aufgrund der unterschiedlichen Planungsrestriktionen nicht auf andere Fertigungsbereiche übertragbar und eine einheitliche, vereinfachte Steuerung nicht realisierbar ist. Daher soll eine übergreifende Feinplanungssoftware (MES) alle Anforderungen der einzelnen Fertigungsbereiche abdecken. Dafür wurde ein eigenes Projekt initiiert.

## 4.2.2 Weiteres Vorgehen

Bei der Entwicklung des Soll-Konzepts wurde erkannt, dass es möglich ist das Projekt OAS in drei Teilprojekte zu trennen. Die Projekte können weitgehend unabhängig voneinander behandelt werden:

- OFIS<sup>106</sup>-Ablösung
- Vergabe der MES-Software
- Projekt zur Feinsteuerung in der Pleuefertigung

---

<sup>104</sup> Bei der Abnahme wird das Teil von einem Prüfer der Versicherungsgesellschaften, welche das Schiff in das der Dieselmotor eingebaut wird zukünftig versichern, kontrolliert und mit einem Stempel gekennzeichnet.

<sup>105</sup> Wie oft ein externer Prüfer der Versicherungsgesellschaft pro Woche zur Kontrolle kommt.

<sup>106</sup> Online Fertigungsinformationssystem – altes Fertigungssteuerungssystem der MDT

Die OFIS-Ablösung ist bereits durchgeführt und alle Funktionen des alten Fertigungssteuerungssystems konnten durch SAP-Transaktionen ersetzt werden.

Die geplante MES-Software zur Feinsteuerung soll direkt an SAP angebunden sein und möglichst keine Schnittstellen zu anderen Systemen haben. Funktionen die in der derzeitigen SAP-Lösung fehlen, sind die Feinsteuerung der Fertigungsaufträge, eine Szenarienplanung und eine transparente Planungsübersicht. Aus diesen Anforderungen und aus den Ergebnissen der Ist-Analyse der Auftragsabwicklung wurde ein umfassender Anforderungskatalog erstellt und als Angebotsgrundlage verwendet.

In den folgenden Kapiteln wird auf das dritte Projekt, der Fertigungssteuerung in der Pleuefertigung eingegangen. Es werden die aktuellen Gegebenheiten in der Pleuefertigung analysiert und auf die Probleme der Fertigungssteuerung näher eingegangen.

### 4.3 Angewandte Datenermittlungsmethoden

Bevor näher auf die Beschreibung der Ist-Situation eingegangen wird, werden die angewandten Datenermittlungsmethoden kurz vorgestellt.

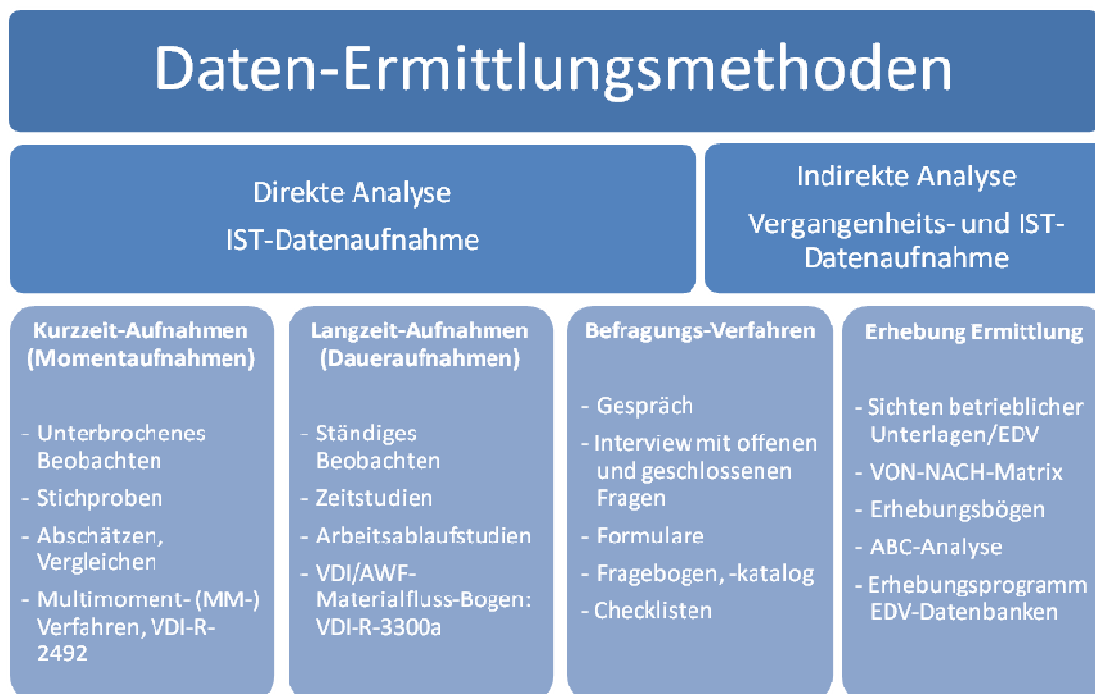


Abbildung 16: Häufig verwendete Datenermittlungsmethoden<sup>107</sup>

<sup>107</sup> Vgl. Martin (2009), S 452

Um die derzeitige Situation zu erfassen, wurden gerade am Anfang des Projektes in der Pleuefertigung viele Gespräche mit den Mitarbeitern und dem Meister geführt.

Zur eingehenden Analyse wurden Daten aus dem SAP R3 und aus den Aufzeichnungen des Meisters herangezogen. Die aktuelle Fertigungssteuerung wurde durch ständige Beobachtungen und Mitwirken in der Steuerung kennen gelernt.

Die bereits bestehenden Dokumentationen des Fraunhofer-Institutes wurden ebenfalls eingesehen, aktualisiert und für diese Arbeit verwendet.

## 4.4 Allgemeine Informationen Pleuefertigung

In diesem Kapitel werden zuerst die Rahmenbedingungen in der Pleuefertigung vorgestellt und dann auf den Materialfluss eingegangen.

Die Pleuefertigung produzierte für Neubau, Lizenz, Service und Forschung und Entwicklung im Jahr 2010 genau **2507 Pleuel** der Motortypen

- 32/40<sup>108</sup>
- 32/44 L und V
- 35/44
- 48/60 A und B mit ein-, zwei- und dreiteiligen Rohlingen
- 58/64.

Hauptsächlich werden Motoren des Typs 32/40 und 48/60 produziert. Daher konzentrieren sich die Analysen auf diese zwei Motortypen. Insgesamt wurden im letzten Jahr 62.063 Maschinenstunden und 61.251 Arbeiterstunden von insgesamt 33 Mitarbeitern verbucht. Die Ausschuss-, Ersatz- und Nacharbeitskosten (AEN-Kosten) betragen 12.204 € bei einer Ausschussquote von 0 %. Die durchschnittliche Durchlaufzeit<sup>109</sup> der Aufträge beträgt 25 Tage und die Liefertreue<sup>110</sup> an die Montagelinien beträgt 100%.<sup>111</sup>

Die Pleuel sind abnahmepflichtige Teile des Motors. Das bedeutet, dass die Pleuel von einer externen Versicherungsgesellschaft geprüft und bei Erfüllung der geforderten Qualitätsmerkmale freigegeben, also abgenommen werden. Die Abnahme wird durch einen Stempel im Material bestätigt, der sich je nach Klassifikationsgesellschaft

---

<sup>108</sup> Die Motoren der MDT werden nach dem Zylinderdurchmesser (32 cm) und dem Hub (40 cm) benannt.

<sup>109</sup> gemessen von der Zuteilung der Rohlinge zum ersten Arbeitsvorgang bis zum Abliefern des ersten fertigen Pleuels eines Loses.

<sup>110</sup> Die Serviceaufträge werden in der Liefertreue nicht berücksichtigt.

<sup>111</sup> Vgl. Unternehmensinterne Quelle 2010

unterscheidet. Es gibt auch Motoren, die keine Klassifikation benötigen, diese werden unter dem Begriff „Werksabnahme“ geführt.

Die benötigte Abnahme für einen Motor steht ab der Bestellung fest und Bestimmungsteile<sup>112</sup> werden auch mit der richtigen Abnahme eingesteuert. Die Pleuel hingegen werden als Vorratsteil geplant und produziert. Das bedeutet, dass die Fertigungsaufträge keinem fixen Kunden zugeordnet sind.

### Produktionsprozess/physikalischer Materialfluss

Das besondere an der Pleuefertigung ist, dass der Materialfluss eines Teiles zuerst divergierend ist und später wieder konvergiert. Jeder der gefertigten Pleuel besteht aus drei Teilen. Die kleinen Pleuel (Typen 32/40 und 32/44) setzen sich aus Körper, Deckel und Schaft zusammen, die großen Pleuel (Typen 48/60 und 58/64) aus Kopf, Deckel und Schaft, wie in Abbildung 17 gezeigt wird.

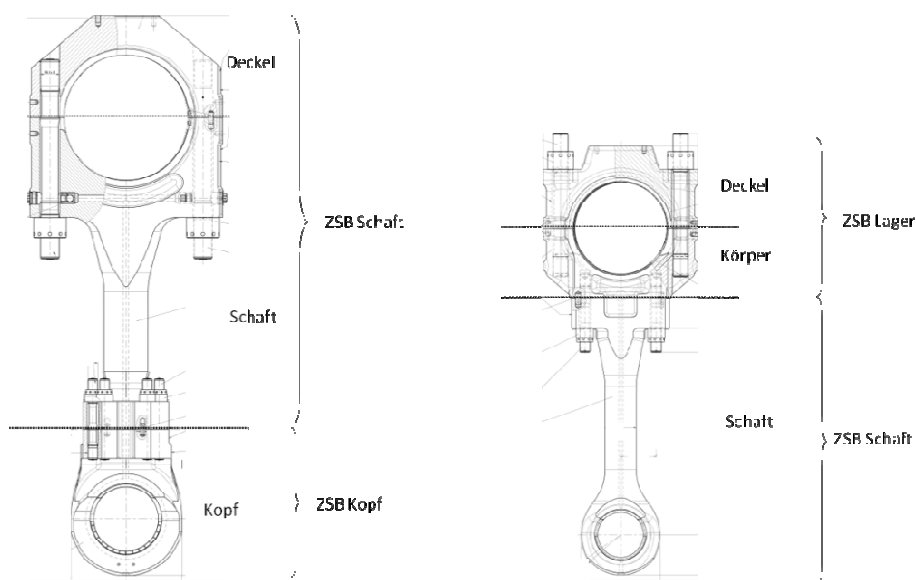


Abbildung 17: Darstellung von großen (links) und kleinen Pleuel (rechts)<sup>113</sup>

Generell werden die Pleuel im Ganzen geliefert. Zu Beginn des Fertigungsprozesses werden die Pleuel gesägt, danach die Einzelteile bearbeitet und dann in verschiedenen Schritten wieder zusammengefügt. Bei Pleuel für den Motortyp 48/60 B gibt es noch die Besonderheit, dass die Rohpleuel von zwei verschiedenen Lieferanten bezogen werden und somit 10% der Rohpleuel dreiteilig geliefert werden. So müssen die

<sup>112</sup> Bestimmungsteil, ist ein Teil das fix einem Kundenauftrag zugeordnet ist.

<sup>113</sup> Vgl. Unternehmensinterne Quelle

Pleuel zwar nicht mehr gesägt werden, jedoch stellt das einen geringen Mehraufwand in der Fertigung dar.

In der Pleuefertigung gibt es folgende Arbeitsgruppen:

**Tabelle 3: Arbeitsgruppen in der Pleuefertigung<sup>114</sup>**

Bezeichnung	Gruppennr.	Anzahl
Drehmaschine	5242025	1 (+ 1 Reserve)
	5242033	
Tiefbohrmaschine	5243830	1
Fräszentren	5244859	4
	5244860	
	5244865	
	5244875	
Säge	5247050	1
Schlossereiarbeitsplätze	5249020	8 (leicht erweiterbar)
	5249060	
	5249061	
Anreißvorrichtung	5249330	1
Kugelstrahlmaschine	5249621	1
Rissprüfvorrichtung	5249784	1

Wie der Abbildung 18 zu entnehmen ist, ist die Pleuefertigung intern weder strikt nach dem Funktions-, noch nach dem Objektprinzip angeordnet. Es wird versucht die Wege der Materialien so kurz wie möglich zu halten. Jedoch ist dies aufgrund des Platzmangels und verschiedenen Restriktionen der Maschinen nicht optimal möglich.

Die Abbildung 18 stellt die Anordnung der Maschinen in der Pleuefertigung dar. Die Pfeile zwischen den Maschinen zeigen die Materialflüsse. Die Pfeildicke steht im Verhältnis zur Stückzahl, welche von einer Maschine zur anderen transportiert werden muss. Da die Pleuel gesägt und wieder zusammengeschaubt werden, kommt es vor, dass die Summe der Breiten der eingehenden Pfeile, nicht mit der Summe der Breiten der ausgehenden Pfeile übereinstimmt. Das Rechteck mit der Bezeichnung B5 repräsentiert den Puffer an Rohpleuel in der Halle B5. Alle Pleuel werden dort vom LKW abgeladen, je nach Bedarf gepuffert und dann vom Werkstättenhelfer mittels Stapler zur ersten Arbeitsstation (Anreißmaschine) transportiert.

<sup>114</sup> Vgl. Unternehmensinterne Quelle (2011)

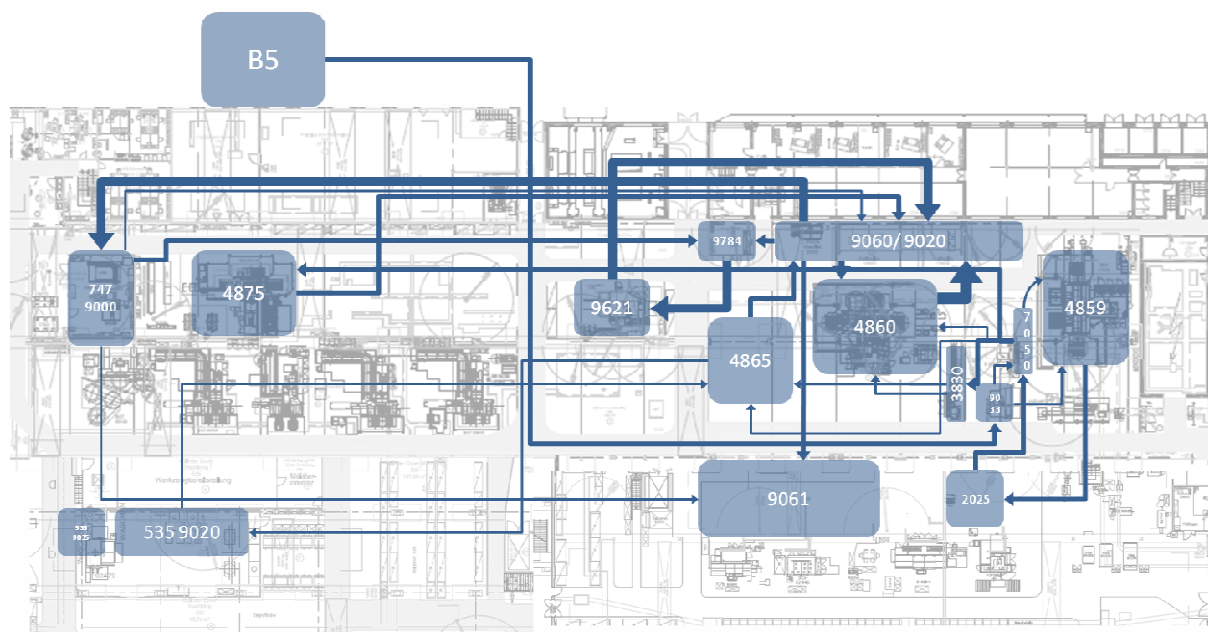


Abbildung 18: Materialfluss in der Pleuefertigung<sup>115</sup>

In Kapitel 2.3.2 wird bereits erwähnt, dass die Produktionsprogramm- und Produktionsbedarfsplanung die Grundlage für die Eigenfertigungssteuerung und Planung darlegen. Im Kapitel 4.5 wird die Produktionsplanung in der MDT beschrieben.

## 4.5 Produktionsplanung und -steuerung in der Pleuefertigung

In der Theorie wurden die Aufgaben der Produktionsplanung und -steuerung bereits behandelt. In diesem Kapitel wird näher auf die Prozesse der MDT und der Pleuefertigung eingegangen.

### 4.5.1 Produktionsprogrammplanung

Die Absatzplanung vom Vertrieb basiert hauptsächlich auf Kundenaufträgen und laufenden Projekten. Kundenaufträge sind bereits fixierte Verträge, zum Unterschied zu Projekten, bei welchen die Ausschreibung noch läuft und der Verkäufer aus seinem Erfahrungsschatz die Projekte in die Planung mit einbezieht oder nicht. Zusätzlich

<sup>115</sup> Vgl. Unternehmensinterne Quelle (2012)



müssen noch die Aufträge für Lizenzbedarfe und Reserveteile berücksichtigt werden, sowie Serviceteile, welche über Richtbedarfe<sup>116</sup> eingesteuert werden.<sup>117</sup>

Je nach Auftragslage wird das Programm ein bis drei Jahre im Voraus geplant. Dazu gibt es vierteljährliche Abstimmungen zwischen Vertrieb und Zentrallogistik. Übergibt der Vertrieb den Absatzplan für die folgende Planungsperiode (immer ein Jahr) werden seitens der Logistik die Kapazitäten abgeglichen und den einzelnen Aufträgen/Projekten, unter bestimmten Restriktionen, Zeitfenster für die Montage und den Prüfstand zugeordnet. Im Werk in St. Nazaire können 50 Motoren der Typen 48/60 und 58/64 gebaut werden, im Werk Augsburg variiert die Kapazität je nach Produktionsprogramm stark zwischen 100 und 250 Motoren. Die möglichen errechneten Fertigstellungstermine werden dem Vertrieb mitgeteilt und sind wesentlich für die Vertragsverhandlungen. Unterkapazitäten werden über die Vergabe an Lizenznehmer oder Terminverschiebungen ausgeglichen.<sup>118</sup>

Die Lieferzeiten für kritische Bauteile betragen bis zu acht Monaten, daher gilt, dass ein Auftrag spätestens 6 – 8 Monate vor Auslieferung fixiert sein muss. Neben den Aufträgen, welche bereits abgeschlossen wurden, gibt es auch die Möglichkeit „Vorausmotoren“ einzusteuern. Diese werden auch ohne abgeschlossenen Vertrag gefertigt. Die Beschaffung zeitkritischer Bauteile zu einem Auftrag kann mit Freigabe des Vertriebs ebenfalls vor Auftragsabschluss genehmigt werden.<sup>119</sup>

Neue Motoren werden in SAP R3 als Projekt angelegt, durch die Technik wird die Motorenkonfiguration überprüft und dann die einzelnen Baugruppen als Primärbedarf eingesteuert.<sup>120</sup>

## 4.5.2 Produktionsbedarfsplanung

Ausgehend von den Primärbedarfen, werden die Bruttosekundärbedarfe für die Pleuel und einen Großteil Einbauteile über eine Stücklistenauflösung ermittelt.

Die Pleuel werden laut SAP System auf Vorrat produziert, wobei alle drei Teile in einem Auftragsnetz geplant werden.

---

<sup>116</sup> Richtbedarf wird pro Wiederbeschaffungszeit eingeplant und aus Prognoseergebnissen und dem Verbrauch der letzten 2 Jahre berechnet. Das Datum des Bedarfes ergibt sich aus den Losgrößen. Beispiel: Wiederbeschaffungszeit = 75 Arbeitstage, Richtbedarf = 15, Losgröße = 5, Bedarf: 5 Stück pro Monat.

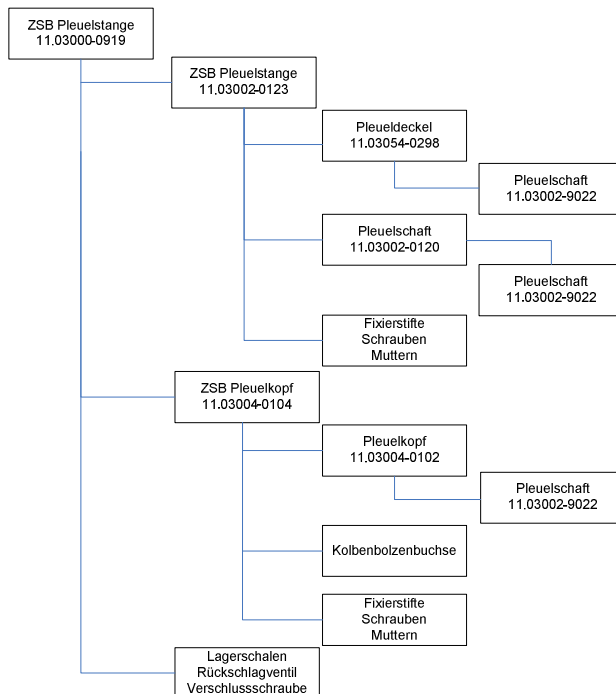
<sup>117</sup> Vgl. Gesprächsprotokoll 2

<sup>118</sup> Vgl. Gesprächsprotokoll 2

<sup>119</sup> Vgl. Gesprächsprotokoll 2

<sup>120</sup> Vgl. Gesprächsprotokoll 2

Auftragsnetze entstehen im SAP R3 der MDT mit Hilfe einer Zusatzprogrammierung dadurch, dass der Kopf des Netzes ein Vorratsauftrag ist und die untergeordneten Kundenaufträge sind, welche dem übergeordneten eindeutig zugeordnet sind. In folgender Abbildung wird der Aufbau eines Netzes gezeigt.



**Abbildung 19: Modell der Auftragsnetzstruktur vom Motortyp 48/60 B mit einteiligem Rohling**

In Abbildung 19 werden pro Fertigungsauftrag die Bezeichnung des fertigen Teiles und dessen Materialnummer abgebildet. Daraus wird erkannt, dass pro Los sechs Fertigungsaufträge erstellt werden und die untergeordneten Aufträge immer eindeutig dem übergeordneten zugeteilt sind. Das Rohteil ist für den Schaft, den Deckel und den Kopf dasselbe und wird im Zusammenbau wieder vereint.

Zur Produktionsbedarfsplanung für die Pleuel wird der MRP I Lauf des ERP-Systems, welcher bereits in Kapitel 2.5.1 beschrieben wurde, bis zur Durchlaufterminierung gegen unbegrenzte Kapazitäten durchgeführt. Die Terminierung verläuft rückwärts und es werden die Arbeitstage laut MAN-Kalender<sup>121</sup>, sowie die eingetragenen Schichten am Arbeitsplatz berücksichtigt. Eine genaue Kapazitätsbedarfsplanung wird vom ERP-System nicht mehr durchgeführt, ebenso wenig wie eine Kapazitätsanpassung.

In einer Langfristplanung werden zwar grob die Kapazitätsbedarfe untersucht und eine Personalaufstockung oder Verschiebungen der Fertigstellungstermine vorge-

<sup>121</sup> Kalender, in welchen die Feiertage von Augsburg und Werksschließungen berücksichtigt werden.

nommen, jedoch ist das für die Kapazitätsplanung der Meister zu ungenau. Zusätzlich wird in der Langfristplanung in verschiedenen Szenarien geplant, welche sich stark voneinander unterscheiden. Da der Hauptkunde der Pleuefertigung die Montage ist, wird vom Meister verlangt auf Montageverschiebungen Rücksicht zu nehmen, wobei die Termine im SAP-System oft nicht mehr angepasst werden.

Als Ergebnis des Planungslaufes erhält der Meister die terminierten Start- und Endtermine, bei welchen die Eigenfertigungszeiten jedoch stark von der Realität abweichen und der Meister somit jeden Auftrag noch einmal im Detail plant. Gründe für diese Abweichung sind der Tabelle 4 zu entnehmen.

**Tabelle 4: Verfälschende Einflussfaktoren auf die Eigenfertigungszeiten<sup>122</sup>**

<b>Nummer</b>	<b>A) Faktoren welche die Eigenfertigungszeiten erhöhen</b>	<b>B) Faktoren welche die Eigenfertigungszeiten verringern</b>
<b>1</b>	Im ERP-System sind zu hohe Wartezeiten an Arbeitsplätzen hinterlegt.	Es wird davon ausgegangen, dass Maschinen und Arbeiter immer bereit sind.
<b>2</b>	Im ERP-System sind zu hohe Transportzeiten bei Kostenstellenwechsel berücksichtigt.	Vorgabezeiten aus den Arbeitsplänen werden immer durch den Zeitgrad <sup>123</sup> dividiert, auch wenn die Arbeitszeit nicht durch den Arbeiter beeinflussbar ist.
<b>3</b>	Zeiten, welche den Durchlauf nicht beeinflussen werden in der Terminierung berücksichtigt.	
<b>4</b>	Die Terminierung erfolgt im ERP-System in den Fertigungslosgrößen, die Fertigung arbeitet annähernd mit One-Piece-Flow.	

Die Eigenfertigungsplanung wird im nächsten Kapitel genauer beschrieben.

### 4.5.3 Eigenfertigungsplanung und -steuerung

Im Laufe der Wertstromanalyse wurde auch der Informationsfluss und somit der Fertigungssteuerungsprozess dargestellt, welcher im Anhang B zu finden ist.

1. Erstellen einer Bedarfsübersicht

Die Eigenfertigungsplanung wird vom Meister anhand des Produktionsprogrammes vorgenommen. In regelmäßigen Abständen wird das Programm des nächsten Jahres im SAP abgerufen und in eine Excel-Datei exportiert. In dieser Datei wird errech-

<sup>122</sup> Eigene Tabelle (2011)

<sup>123</sup> Zeitgrad = Leistungsgrad Akkordlohn [min]/60 [min]. Der Leistungsgrad Akkordlohn ist eine Kennzahl, die die Arbeitsgeschwindigkeit wiedergibt. Z.B. Leistungsgrad =80 min, d.h. der Arbeiter schafft in 60 Minuten Arbeit mit einer Vorgabezeit von 80 Minuten.

net wie viele Motoren mit welcher Zylinderzahl<sup>124</sup> pro Monat abzuliefern sind.<sup>125</sup> Folgende Tabelle zeigt einen kurzen Ausschnitt aus der Liste.

**Tabelle 5: Auszug aus Liste zur mittelfristigen Eigenfertigungsplanung<sup>126</sup>**

Werknummer <sup>127</sup>	Anzahl Zylinder	Zylinderanordnung	Motortyp	Abnahmegesellschaft	Montagetermin	Montagewerk
1135596	18	V	48/60B	WA	04.04.2011	Saint Nazaire
1063395	6	L	32/40CD	GL	05.04.2011	Augsburg
1130219	6	L	48/60	ABS	06.04.2011	Lizenz-Werke
1130801	7	L	48/60CR	NV/DNV	07.04.2011	Augsburg
1065274	12	V	32/40CD	CCS	11.04.2011	Augsburg
1135801	12	V	48/60CR	BV	13.04.2011	Augsburg
1135802	12	V	48/60CR	BV	19.04.2011	Augsburg
1063606	10	L	32/44CR	NV/DNV	21.04.2011	Augsburg
1135597	18	V	48/60B	WA	23.04.2011	Saint Nazaire
1135803	12	V	48/60CR	BV	29.04.2011	Augsburg

Anzahl der Pleuel pro Monat: 113

Anhand dieser Liste werden die Kapazitäten in der Fertigung für das nächste halbe Jahr grob geplant. Die Liste gilt auch als Basis für die Ablieferung von Pleuel an die Montage in Augsburg und nach Frankreich. Sie wird jedoch anhand von Informationen aus der Bandaufgabe und telefonischen Rücksprachen ständig aktualisiert. Sie beinhaltet nur Bedarfe für den Neubau und Lizenznehmer, nicht jedoch für Teile für den Service, Reserveteile und Teile für die Forschung und Entwicklung.<sup>128</sup>

## 2. Einsteuern der Aufträge

Ausgehend von dieser Liste wird die Fertigung der benötigten Pleuel ca. 30 Arbeitstage vor Montagetermin in Augsburg und ca. 50 Arbeitstage vor Montagetermin in St. Nazaire begonnen.<sup>129</sup>

<sup>124</sup> Pro Zylinder wird ein Pleuel benötigt.

<sup>125</sup> Vgl. Gesprächsprotokoll 1

<sup>126</sup> Vgl. Unternehmensinterne Quelle (2011)

<sup>127</sup> Nummer, welche jeder Motor zugeordnet bekommt.

<sup>128</sup> Vgl. Gesprächsprotokoll 1

<sup>129</sup> Vgl. Gesprächsprotokoll 1

Die Planaufträge werden vom Materialdisponenten zehn Tage vor dem terminierten Starttermin des am frühesten startenden Auftrages in Fertigungsaufträge umgesetzt und gleichzeitig freigegeben. Bei Auftragsstart ist auch spätestens das Rohmaterial im Werk, welches meist in Losen von über 50 Stück geliefert wird. Aus der Liste der freigegebenen Aufträge kann der Meister nun auswählen, welchen er in die Fertigung einsteuert.

Beim Einsteuern der Aufträge achtet er, neben dem Montagedatum, auch darauf, dass seine Maschinen gleichmäßig ausgelastet sind, da je nach Pleueltyp und Rohparteilart andere Arbeitsplätze benötigt werden. Weiters wird versucht den Rüstaufwand minimal zu halten. Der Meister hat auch die Möglichkeit bei kapazitiv oder technisch bedingten Problemen auf alternative Arbeitsplätze in der Pleuefertigung auszuweichen.<sup>130</sup>

Wie bereits erwähnt, werden die Pleuel laut SAP auf Vorrat zu fixen Losen produziert, der Meister jedoch ordnet in seiner „Taktverknüpfungsliste“ die Fertigungsaufträge bereits bei Fertigungsbeginn einem bestimmten Motor/Kunden zu. Diese Zuordnung kann sich im Laufe des Fertigungsprozesses durch Motorverschiebungen oder dringender Servicebedarfe noch ändern.

In folgender Tabelle ist die Zuteilung von drei Fertigungsaufträgen des Typs 32/40 auf die einzelnen Motoren abgebildet. Den Aufträgen wird bei Einsteuerung in die Fertigung eine Farbe gegeben<sup>131</sup>, um die Teile der einzelnen Aufträge nicht zu mischen und um den Suchaufwand nach Teilen zu verringern. Diese Farben werden bei der Zuteilung der Aufträge zum Bedarfsträger ebenfalls verwendet.<sup>132</sup> Die Tabelle 6 zeigt uns, dass sechs Pleuel vom blauen und sechs vom gelben Auftrag in den Motor „1065275“ laufen sollen. Da der Typ 32/40 jedoch im Los von 26 Stück gefertigt wird, fließen vom gelben Auftrag die restlichen 20 Stück in die nächsten drei Motoren, welche ihre Montagetermine jedoch wesentlich später haben, als jener Motor, für den das Los in die Fertigung eingesteuert wurde.

---

<sup>130</sup> Vgl. Gesprächsprotokoll 1

<sup>131</sup> Alle Teile eines Auftrages werden mit einem farbigen Lackstift gekennzeichnet. Der Meister entscheidet welche Farbe als nächstes verwendet wird.

<sup>132</sup> Vgl. Gesprächsprotokoll 1

**Tabelle 6: Auszug aus der Taktverknüpfungsliste<sup>133</sup>**

Werknummer	Abnahmegesellschaft	Anzahl Zylinder	Zylinderanordnung	Motortyp	Montage-termin	Anzahl Peuel pro Fertigungsauftrag	
1065275	CCS	12	V	32/40CD	27.04.2011	6	6
1063508	BV	9	L	32/40CD	18.05.2011	9	
1063507	BV	9	L	32/40CD	03.06.2011	9	
1063509	BV	9	L	32/40CD	09.06.2011	2	7
1063510	BV	9	L	32/40CD	22.06.2011	9	
1065276	WA	18	V	32/40CD	04.07.2011	10	
1065277	WA	18	V	32/40CD	05.07.2011		

### 3. Auftragsverfolgung laut Durchlaufplan

Bei Einsteuerung eines Auftrages, wird dieser im Durchlaufplan eingetragen. Der Durchlaufplan ist eine Liste, welche zeigt, wie viele Vorgabeminuten laut Arbeitsplan der Auftrag auf den einzelnen Arbeitsplatz bearbeitet werden müssen. Dieser wird je nach Arbeitsfortschritt manuell aktualisiert. Ist der Auftrag auf einer Arbeitsstation fertig bearbeitet, werden die Minuten aus dem Plan gelöscht. Wird die Summe der noch abzuarbeitenden Minuten pro Arbeitsplatz summiert, wird deutlich wie viel Arbeit in Zeiteinhalt sich aktuell in der Fertigung befindet und auf dem Arbeitsplatz verrichtet werden muss. Einen kurzen Auszug für einen Auftrag ist in Tabelle 7 zu finden.<sup>134</sup>

**Tabelle 7: Auszug aus dem Durchlaufplan<sup>135</sup>**

	<b>PSP:</b>	<b>1757916</b>	<b>Typ:</b>	<b>B 48/60</b>		
<b>Teil</b>	Schaft	ZSB -Schaft	ZSB Stange	Deckel	Kopf	ZSB Kopf
<b>Menge</b>	18	18	18	18	18	18

<b>Arbeitsplatz</b>						
Anreißen	9330	745				
Heckert 1600	4859/1	1067				
	4859/2	1351				
	4859/3					
Heckert 1250	4860/1	1339	1510			
	4860/2					
	4860/3					
Heckert 1250/P	4865/1				1123	
	4865/2				1633	
	4865/3				2175	
EMCO	2025	3718				

<sup>133</sup> Vgl. Unternehmensinterne Quelle (2011)

<sup>134</sup> Vgl. Gesprächsprotokoll 1

<sup>135</sup> Vgl. Unternehmensinterne Quelle (2011)

Auf Basis des Durchlaufplanes erstellt der Meister ebenfalls eine Liste für die Fräszentren mit der Information für welchen Auftrag als nächstes gerüstet werden muss, bzw. welcher als nächstes gefertigt werden muss.<sup>136</sup>

#### 4. Reihenfolgenplanung

In der Fertigung werden die Teile hauptsächlich auf Zuruf weitergegeben und möglichst nah bei der nächstbearbeitenden Maschine zwischengepuffert. Die Transporte erfolgen in kleineren Losen als der Auftragslosgröße und die Auftragspapiere werden unterschiedlich, mit dem ersten oder letzten fertigen Teil weitergegeben. Pro Auftrag wird nur ein Auftragspapier gedruckt. In der Pleuefertigung wird jedoch annähernd im One-Piece-Flow gefertigt, somit können sich die Papiere nicht immer an der Arbeitsstation befinden, an welcher der Auftrag gerade gefertigt wird.

In der Pleuefertigung gibt es keine einheitliche Abarbeitungsregel. In den Fräszentren wird z.B. darauf geachtet, dass nur minimale Stillstände durch Rüsten auftreten. Dies wird dadurch gewährleistet, dass auf den Maschinen bereits bearbeitete Teile ab- und neue Teile aufgerüstet werden können, während die Maschine voll im Betrieb ist. Bei den erstbearbeitenden Stationen wird darauf geachtet, dass die folgenden Arbeitsplätze mit genügend Arbeit versorgt sind, auf der Drehmaschine hingegen wird immer ein Los nach dem anderen gefertigt, da die Rüstzeit vergleichsweise hoch ist.

Die Arbeiter melden einen fertigen Arbeitsvorgang nicht selbstständig im SAP zurück. An den Fräszentren liegen Listen auf in welchen der Arbeitsfortschritt eingetragen wird. Diese werden regelmäßig eingesammelt, der Arbeitsfortschritt im Durchlaufplan vom Meister eingetragen und anhand von den Informationen im Durchlaufplan vom Gruppenführer<sup>137</sup> zurückgemeldet.<sup>138</sup>

Bei der Rissprüfung müssen die Teile zum ersten Mal abgenommen werden. Dies geschieht ca. zehn Arbeitstage vor Ablieferung an den Endkunden. Der Mitarbeiter, welcher die Pleuel prüft, arbeitet ebenfalls nach der Liste in Tabelle 5. Beim Rissprüfen wird darauf geachtet, dass die nachfolgende Arbeitsstation, das Kugelstrahlen, einen möglichst geringen Rüstaufwand hat.

Der letzte Fertigungsauftrag in der Pleuefertigung gilt erst als geliefert sobald das letzte Pleuel vom Auftrag beim Kunden (Montage, Servicelager, ...) ist.

---

<sup>136</sup> Vgl. Gesprächsprotokoll 1

<sup>137</sup> Der Gruppenführer unterstützt den Meister in den Planungs- und Steuerungsaufgaben, sowie der Auftragsverwaltung.

<sup>138</sup> Vgl. Gesprächsprotokoll 1

Während der Aufnahme des Wertstroms wurden auch einige Fertigungsdaten überprüft und analysiert. Im folgenden Kapitel werden die Analyseergebnisse dargestellt und die Problemfelder der Steuerung erläutert.

## 4.6 Problemfelder in der Pleuefertigung

In der Masterarbeit wurden bereits in Kapitel 4.2.1 und auch in der Beschreibung der Fertigung die Probleme andiskutiert. In diesem Kapitel werden die Analyse- und Untersuchungsergebnisse beschrieben und zusammengefasst.

### 4.6.1 Ungenaue Terminierung

Der Meister startet die Aufträge nicht nach dem lt. SAP vorgegebenen terminierten Starttermin, sondern errechnet sich den „optimalen“ Starttermin selbst. In Abbildung 20 ist am Beispiel der am meisten gefertigten Typen die Verteilung der Abweichung in Tagen vom SAP-Eckstarttermin über alle Aufträge des Jahres 2010 zu sehen.

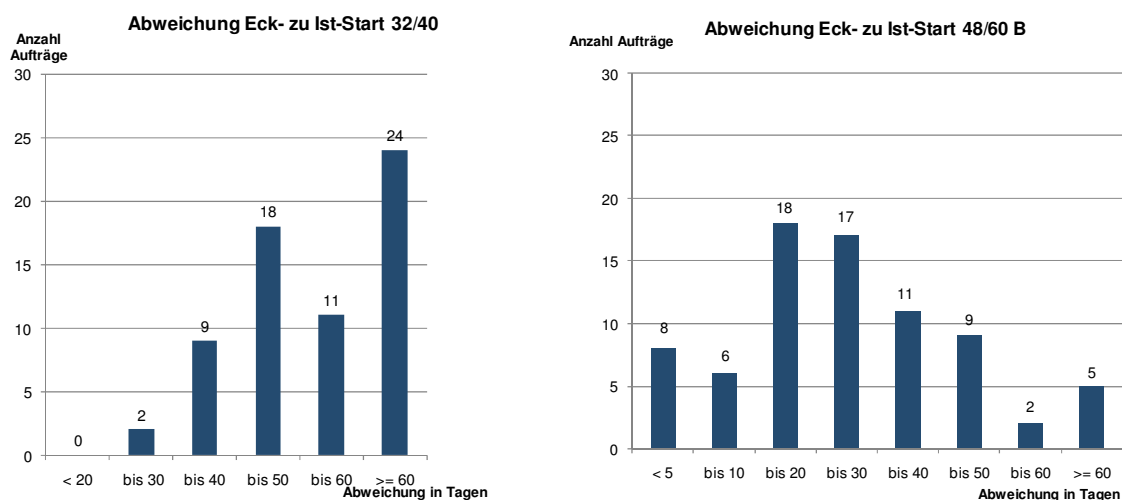


Abbildung 20: Verteilung der Abweichungen vom Eck- zum Ist-Starttermin<sup>139</sup>

Die Rohpleuel werden zum Eck-Starttermin bestellt und geliefert. Beginnt der Meister jedoch erst später mit der Fertigung liegen die Rohteile im Lager bzw. im Puffer vor der Pleuefertigung. Im Mai 2011 wurde in Erfahrung gebracht wie hoch der Bestand an Rohpleuel ist. Dieser wird in folgender Tabelle dargestellt.

<sup>139</sup> Eigene Abbildung (2011)



**Tabelle 8: Bestand an Rohpleuel im Lager<sup>140</sup>**

Typ	Stück	Preis/Stück	Gebundenes Kapital
32/40	210	575,82 €	120.922,20 €
32/44 L	47	753,85 €	35.430,95 €
	47	836,74 €	39.326,87 €
32/44 V	23	818,68 €	18.829,64 €
	115	886,39 €	101.934,85 €
48/60 B	108	3.783,10 €	408.574,80 €
48/60 B 2 tlg.	33	3.155,08 €	104.117,64 €
48/60 B 3 tlg.	36	2.349,32 €	84.575,52 €
	35	828,55 €	28.999,25 €
48/60 B 2&3 tlg.	79	630,92 €	49.842,68 €
48/60 A	14	2.051,97 €	28.727,58 €
58/64	8	3.904,30 €	31.234,40 €
Summe	755		1.052.516,29 €

Zusätzliche Gründe für den hohen Rohteilbestand sind Auftragsstornos, die Umstellung von Abruf aus Fertigungsinseln<sup>141</sup> auf Vorratslieferungen und ein zum damaligen Zeitpunkt bevorstehender Großauftrag für 32/40er-Motoren.

Das Problem der abweichenden Termine liegt an der bereits in Kapitel 4.5.2 beschriebenen Schwierigkeiten, wie zu hoher Warte- und Transportzeiten.

In Abbildung 21 werden die Planlieferzeit und die Eigenfertigungszeit lt. SAP mit der tatsächlichen verglichen und dargestellt. Die sieben Tage Puffer zwischen den Meilensteinen von denen aus rückwärts terminiert wird und dem Montagebeginn sind nach einer Auswertung nicht immer im Netzplan eingetragen. Daher kommt die Bestellung bis zu 20 Tagen zu früh bei einer angenommenen Durchlaufzeit von 30 Tagen.

<sup>140</sup> Eigene Tabelle (2011)

<sup>141</sup> Der Meister hat dem Lieferanten telefonisch oder per Fax mitgeteilt, wann welcher Typ von Rohpleuel geliefert werden soll.

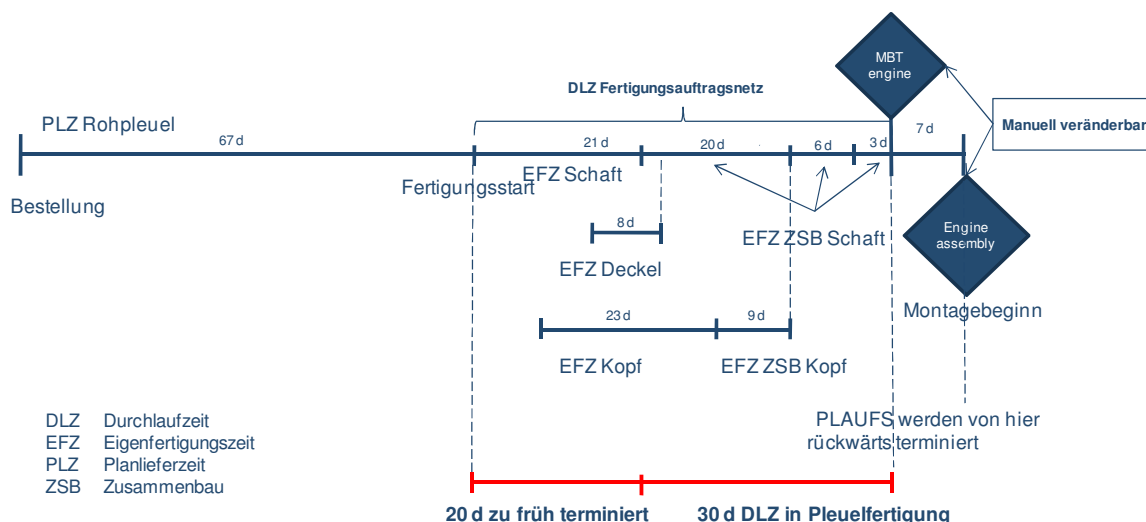


Abbildung 21: Durchlaufzeit eines Fertigungsauftrages des Motortyps 48/60 B<sup>142</sup>

Neben den hohen Rohteilbeständen werden auch beträchtliche WIP-Bestände in der Fertigung gezählt.

#### 4.6.2 Hohe WIP-Bestände und Durchlaufzeiten in der Fertigung

Während der Wertstromaufnahme wurde im Mai 2012 auch eine Momentaufnahme der WIP-Bestände in der Fertigung gemacht. In Tabelle 9 sind die Ergebnisse aufgelistet.

Tabelle 9: Bestand an WIP in der Pleuefertigung<sup>143</sup>

Typ	WIP-Bestand	Gebundenes Kapital
32/40	84	255.974,92 €
32/44 L&V	30	95.713,10 €
35/44	6	16.254,42 €
40/45	2	5.840,00 €
48/60 B	156	930.758,05 €
48/60 A	10	77.634,25 €
58/64	12	88.194,69 €
<b>Summe</b>	<b>300</b>	<b>1.470.369,43 €</b>

<sup>142</sup> Eigene Abbildung (2011)

<sup>143</sup> Eigene Tabelle (2011)

Die hohen Bestände führen nicht nur zu Platzproblemen bei der Pufferung der Pleuel zwischen den Maschinen, sondern auch zu hohen Durchlaufzeiten. Diese entstehen durch die längeren Wartezeiten an den Maschinen und den erhöhten Suchaufwand der Werker. Bereits fertige Pleuel werden ebenfalls in der Fertigung gepuffert. Dies wird durch Motorenverschiebungen und Überproduktion, durch große Losgrößen, verursacht.

Je mehr Pleuel sich in der Fertigung befinden, umso unübersichtlicher sind die Pufferplätze und desto mehr Suchaufwand und Kommunikationsbedarf besteht zwischen den Werkern, um zu wissen, welches Teil als nächstes an der Maschine gefertigt werden muss. Für den Meister ist es auch schwer die Übersicht zu behalten.

Obwohl der Meister mit dem ersten Pleuel eines Auftrages im Durchschnitt nach 25 Arbeitstagen fertig ist, liegen die Teile weit länger in der Fertigung. Für 2010 wurde eine Auswertung in SAP gemacht, welche zeigt, wie lange Pleuel in der Fertigung liegen, bevor sie diese vollständig durchlaufen haben. Zur Erstellung dieses Diagramms wurden die Rückmeldungen des ersten Arbeitsvorganges und des letzten herangezogen. Es ist zu beachten, dass sich die hohen Durchlaufzeiten für den Motortyp 32/40 durch die Nivellierung der Bedarfe eines Großauftrages ergeben haben. Die Pleuel wurden bis zu einem Monat im Voraus gefertigt.

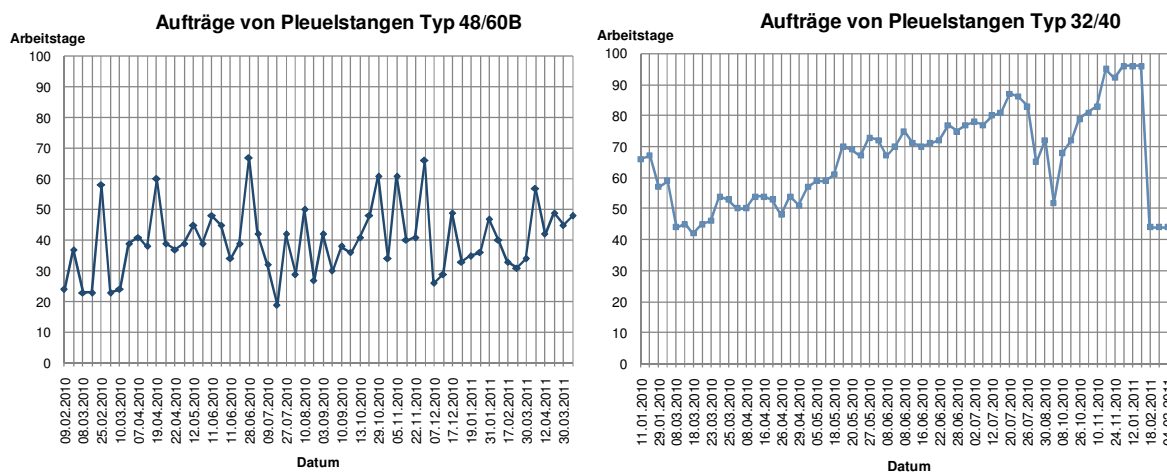


Abbildung 22: Durchlaufzeiten der Aufträge für Pleuel 01.2010 bis 03.2011<sup>144</sup>

Der Meister liefert die zu früh fertiggestellten Pleuel nicht ins Lager, da diese laut SAP auf Vorrat laufen, er die Teile aber für einen bestimmten Kundenauftrag produziert

<sup>144</sup> Eigene Abbildung (2011)

hat. Würde er die Pleuel als Vorrat ins Lager abliefern, könnte bei Bedarf jeder darauf zugreifen und diese auf eine andere Abnahme umstempeln lassen. Es sollte das Dispositionsmerkmal der Aufträge von Vorratsauftrag auf einen kundenspezifischen Auftrag geändert werden.

Würde man bei der Berechnung der Liefertreue auch Aufträge für Service und Reserve miteinbeziehen, wäre diese unter 100%.

### **4.6.3 Hoher Fertigungsplanungs- und Steuerungsaufwand**

Im Kapitel 4.5.3 wurde bereits der zusätzliche Planung- und Steuerungsaufwand zu den bereits vom SAP zur Verfügung gestellten Hilfsmitteln beschrieben.

Der Aufwand hängt mit den bereits beschriebenen Ursachen zusammen, der ungenauen Terminierung und den hohen Beständen in der Fertigung. Dadurch ist es schwer einzuschätzen bis wann welcher Auftrag fertig ist und den Überblick über die Fertigung zu bewahren. Allerdings gibt es noch weitere Faktoren, die die Steuerung erschweren. Für die Aufträge sind verschiedene Abnahmen notwendig. Die Vertreter der Versicherungsgesellschaften kommen nur an gewissen Tagen in der Woche, das bedeutet, dass für die Abnahmen oft zusätzliche Wartezeit berücksichtigt werden muss.

Es gibt weder eine eindeutige Einlast- noch Abarbeitungsregel in der Fertigung. Die Arbeiter achten darauf, dass nachfolgende Maschinen stets mit Teilen versorgt sind und arbeiten an den Fräsen nach Abarbeitungslisten, welche vom Meister vorgegeben werden. Der Meister muss immer wieder korrigierend eingreifen und sich täglich einen Überblick in der Fertigung verschaffen.

Eine eindeutige Auftragsverfolgung ist nur nach den Excel-Listen des Meisters möglich. Dadurch ist es ohne diese Listen nicht nachvollziehbar, welche Aufträge sich in der Fertigung befinden, welchen Arbeitsfortschritt diese aufweisen und für welchen Kundenauftrag sie gefertigt werden.

Die komplexe Steuerung und der hohe Bestand verursachen die größten Probleme in der Fertigung. Die optimale Maschinenauslastung wird der Bestandsminimierung vorgezogen, was zu Platzmangel und höheren Durchlaufzeiten als notwendig führt. Durch die neue Steuerungsmethode soll die Entscheidung der Einlastung abgenommen und durch klare Regeln die Abarbeitung an dem Maschinen vorgegeben werden. Außerdem regelt die CONWIP-Steuerung den Bestand in der Fertigung.

Während der Analysephase in der Pleuefertigung, deren Ergebnisse gerade beschrieben wurden, wurde auch die Datenbasis für die Materialflusssimulation aufgenommen. Die Simulation wurde parallel zur Ausarbeitung des Konzeptes gestartet um Ideen zu validieren und Stellgrößen für die Fertigungssteuerung zu testen.

## 5 Materialflusssimulation der Pleuefertigung

Um den komplexen Materialfluss der Pleuefertigung und die Zusammenhänge zwischen den einzelnen Parametern zu verstehen, wurde beschlossen die Fertigung zu simulieren und den Vorschlag, eine CONWIP-Steuerung zu implementieren, zu überprüfen. In diesem Kapitel wird der Aufbau der Simulation beschrieben und auf die Prämissen zur Erstellung der Simulation eingegangen. Danach werden die Unterschiede der zwei wichtigsten Experimente erläutert und die Ergebnisse verglichen sowie interpretiert.

Die Simulation wird in Plant Simulation<sup>145</sup> erstellt, welches mit der Programmiersprache SimTalk arbeitet. Alle Informationen bezüglich der Simulationsbausteine und Eigenschaften sind in dem Buch „Fertigungssimulationen mit Plant Simulation und SimTalk“<sup>146</sup> nachzulesen.

Die Simulation dient dazu, die Ziele der Fertigung mit der gewählten Steuerungsmethode zu verifizieren. Diese Ziele sind bei gleichbleibender Liefertreue den Bestand und die Durchlaufzeiten in der Fertigung zu senken. Dafür wurde beschlossen, zwei mögliche Szenarien durchzuspielen. Im ersten Schritt soll die aktuelle Fertigungssituation so genau wie möglich und notwendig abgebildet werden. Als zweites Szenario soll getestet werden, wie sich der Einsatz einer CONWIP Steuerung mit fixen Losen auf die Zielgrößen auswirkt. Alle benötigten Daten konnten aufgenommen werden, jedoch wurden die Systemgrenzen eng gesteckt und in der Simulation Vereinfachungen vorgenommen, wie auch im folgenden Kapitel beschrieben wird.

### 5.1 Aufbau und Vereinfachungen

Da die Daten für die Simulation zum großen Teil bereits aufgenommen waren, wurden im ersten Schritt die Systemgrenzen bestimmt. Folgende Darstellung zeigt welche Prozesse in der Simulation berücksichtigt wurden.

---

<sup>145</sup> Von Siemens entwickeltes Simulationsprogramm

<sup>146</sup> Bangsow (2008)

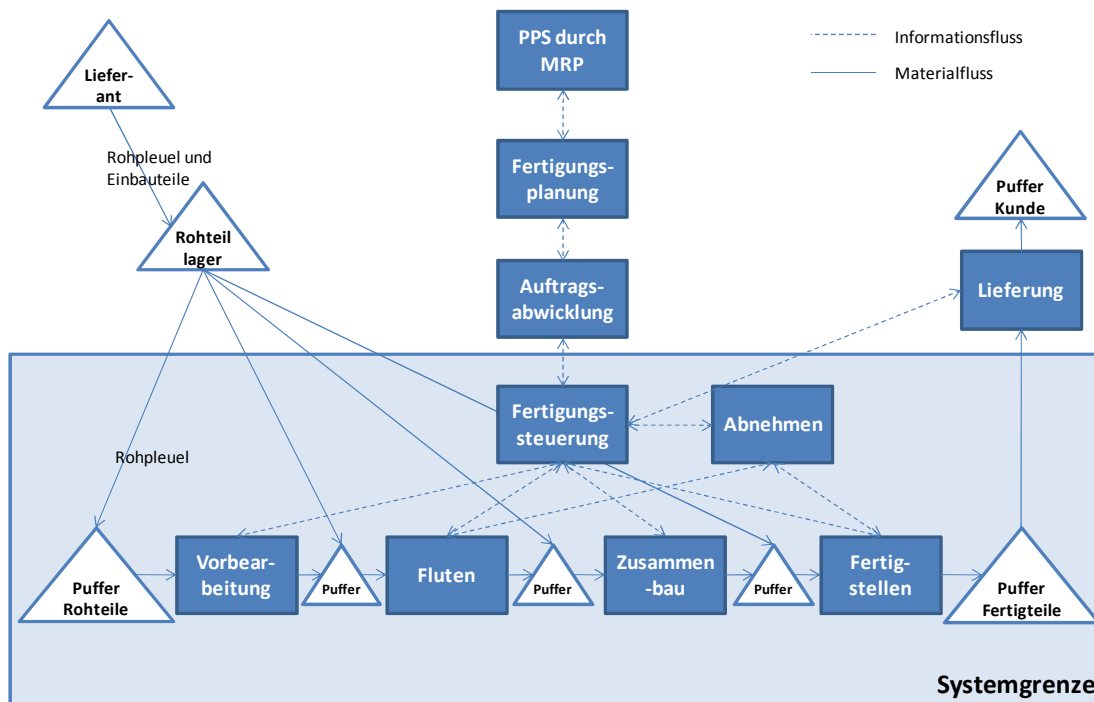


Abbildung 23: Systemgrenze der Materialflusssimulation<sup>147</sup>

In Abbildung 23 werden grob alle Prozesse in der Pleuefertigung dargestellt. In der Materialflusssimulation wird davon ausgegangen, dass Rohpleuel immer zum Starttermin zur Verfügung stehen. Der gesamte Beschaffungs- und Lagerungsprozess der Rohteile und Einbauteile wird nicht berücksichtigt. Der Simulation werden die Start- und Bedarfstermine fix vorgegeben. Die Fertigstellungszeiten an jeder einzelnen Maschine werden nicht aufgenommen. Alle Arbeitsplätze, die ein Auftrag durchlaufen muss, sowie der Abnahmeprozess werden jedoch simuliert um realistische Prozesszeiten darzustellen. Kurz gesagt, es wird nur die Fertigung an sich, keine Beschaffungs-, Planungs- und Lieferungsprozesse betrachtet.

Es wurde nicht als sinnvoll erachtet, die Fertigung 1:1 darzustellen. Folgende Vereinfachungen und Prämissen wurden vorgenommen bzw. vorausgesetzt:

- Es werden nur die Pleuel, nicht aber die Einbauteile betrachtet.
- Die Möglichkeit, bei Maschinenausfall oder Überlastung alternative Maschinen zu verwenden, wurde nicht berücksichtigt.
- Die „alte“ Drehmaschine (Arbeitsplatzgruppe 05242033) wurde nicht berücksichtigt, da nur noch selten Aufträge über diese laufen und sie sehr unzuverlässig ist.

<sup>147</sup> Eigene Abbildung (2011)

- Es werden nur die Maschinen simuliert, nicht jedoch die Werker. Es wird davon ausgegangen, dass genügend Werker vorhanden sind und die Schichten auch flexibel verändert werden können.
- In der Fertigung wird nach dem FIFO<sup>148</sup>-Prinzip gearbeitet, außer auf der Drehmaschine (Arbeitsplatzgruppe 05242025). Dort wird nach dem FISFO<sup>149</sup>-Prinzip gearbeitet und an den Fräsen (Arbeitsplatzgruppen 05244859, -4860, -4865, -4875) wird aufgrund der Möglichkeit des externen Rüstens durch die vier Palettenplätze auf minimale Stillstand- und Rüstzeiten geachtet.
- Es werden nur vier verschiedene Pleueotypen simuliert: 32/40, 48/60, 32/44L, 32/44V.
- Es werden keine Flächen und Transportwege oder Transportmittel berücksichtigt. Die Transportzeit zwischen den Arbeitsstationen wird durch eine minimale Pufferzeit von 5 Minuten vor jeder Arbeitsstation abgebildet.
- Die Bearbeitungszeiten sind den Arbeitsplänen entnommen und für alle Tätigkeiten, die von Personen geleistet werden, wurde in den Zeiten der Leistungsgrad<sup>150</sup> berücksichtigt.
- Während der Simulation werden keine kurzfristigen Verschiebungen der Auftragstermine berücksichtigt.
- Beim Sägen und dem Zusammenbau der Teile werden in der Simulation Teile vernichtet und neu generiert. Dies wird durch eigens programmierte Methoden gesteuert.
- Es wird die Größe oder das Gewicht der einzelnen Teile nicht berücksichtigt.
- Die Ergebnisse des ersten Monats werden nicht in die Auswertungen miteinbezogen. Die Simulation benötigt eine Einlaufphase bis genügend Teile in der Fertigung sind um Rückschlüsse auf die Realität ziehen zu können.
- Beim Kugelstrahlen wurde nur in den Bearbeitungszeiten berücksichtigt, dass teilweise vier Teile auf einmal bearbeitet werden können, nicht jedoch genau abgebildet.
- Bei der Bestimmung des WIP-Bestandes wurde jedes einzelne bewegte Element berücksichtigt, nicht darauf eingegangen, dass diese zuerst gesägt und dann wieder zusammgebaut werden.
- Es werden im Modell keine Betriebsurlaube und dadurch notwendige Nivellierungen beachtet.
- Es werden im Modell keine Feiertage beachtet.
- Da die Daten bis Ende November 2011 vorhanden sind, werden die Durchlaufzeiten für den November 2011 nicht mehr in den Ergebnissen berücksichtigt.

---

<sup>148</sup> „First in first out“ (FIFO) ist eine Abarbeitungsregel und bedeutet, dass jener Auftrag, der am längsten vor der Maschine wartet, zuerst abgearbeitet werden soll (früheste Ankunftsregel).

<sup>149</sup> „First in system first out“ (FISFO) ist eine Abarbeitungsregel und bedeutet, dass jener Auftrag, der am längsten im Fertigungssystem ist, zuerst abgearbeitet werden soll (Wartezeitenregel).

<sup>150</sup> Der Leistungsgrad ist eine Parametereinstellung in SAP, die notwendig ist, da davon ausgegangen wird, dass die Arbeiter aufgrund ihrer Erfahrung schneller arbeiten als der Arbeitsplan vorsieht. So schaffen sie z.B. 80 min Vorgabezeit laut Arbeitsplan in nur 60 Minuten. Ihr Leistungsgrad Akkordlohn wäre in diesem Beispiel 80 min.



In Abbildung 24 sehen Sie, wie die Fertigung im Simulationsprogramm modelliert ist.

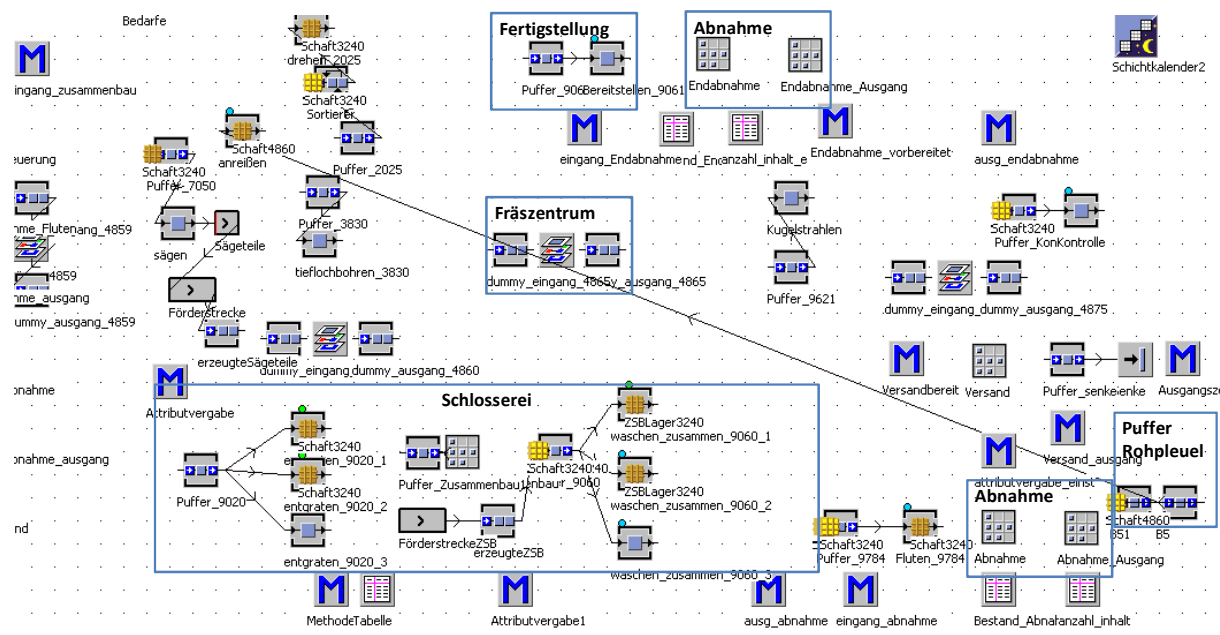


Abbildung 24: Pleuefertigung in Plant Simulation<sup>151</sup>

Die braunen Kisten repräsentieren die Pleuel, die durch die Fertigung fließen. Alle anderen Bausteine sind entweder Puffer, Maschinen oder Informationsbausteine, welche den Materialfluss bzw. Informationsfluss in der Simulation steuern. In der Abbildung werden nicht alle Informationsbausteine gezeigt.

Die Fräsmaschinen konnte ein im Simulationsprogramm vorgegebener Materialflussbaustein nicht abbilden, deswegen wurden sie in einem eigenen kleinen System modelliert und in die Simulation eingebaut. Ein Modell einer Fräse ist in Abbildung 25 zu sehen. Bei den Fräsen wurden auch die vier vorhandenen Paletten berücksichtigt, bei welchen bereits die nächsten Teile aufgespannt werden können während die Maschinen in Betrieb sind. Das erspart viel Rüstzeit und konnte nicht vernachlässigt werden, da jedes Teil mehrfach gefräst wird. Es werden immer die Teile auf einer Palette nach der anderen bearbeitet und darauf geachtet, dass so wenig wie notwendig gerüstet werden muss. In den Fräszentren wurden Dummy-Werker eingesetzt um abzubilden, dass immer nur eine der vier Paletten bearbeitet werden kann.

<sup>151</sup> Eigene Abbildung (2011)

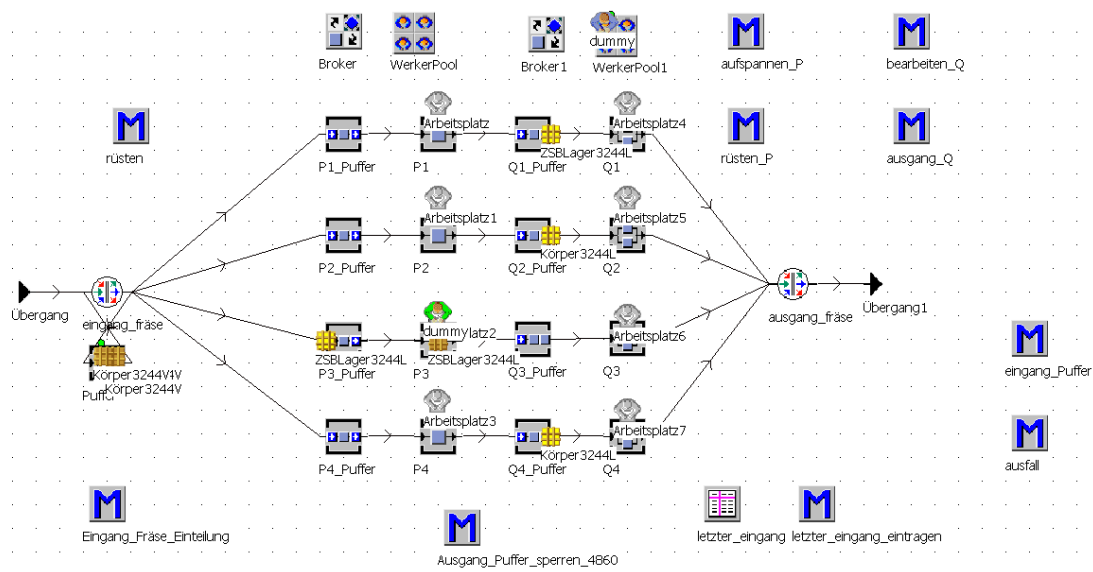


Abbildung 25: Fräszentrum in Plant Simulation<sup>152</sup>

Für die Auswertung der Zielgrößen wurden Daten in Tabellen geschrieben, nach Excel übertragen und dort ausgewertet.

In Kapitel 5.2 wird nun auf die einzelnen Experimente und deren Unterschiede eingegangen.

## 5.2 Experimente

Bevor die Experimente zur Entscheidungsfindung herangezogen werden können, mussten diese validiert werden. Dazu wurden die Ergebnisse mit Daten aus der Fertigung verglichen.

Bei beiden Simulationsläufen werde logistische Zielgrößen wie die Durchlaufzeit, die Liefertreue und der WIP-Bestand aufgezeichnet und gegenüber gestellt. Für den Vergleich wurden in regelmäßigen Abständen die Zielgrößen gemessen und in Tabellen aufgezeichnet.

Die Simulation startet am 23.11.2010 um bereits die ersten Bedarfe in 2011 zu decken und endet am 23.11.2011, da die aktuellen Daten nur bis zu diesem Zeitpunkt vorliegen. Für diesen Zeitraum wird mit dem normalen Kapazitätsangebot (siehe Tabelle 11) gearbeitet.

<sup>152</sup> Eigene Abbildung (2011)

Die Teile bleiben, wie auch in der Realität, so lange in der Fertigung, bis der Kundenbedarf gedeckt werden muss. Die Durchlaufzeiten werden vom Start des ersten Teiles eines Auftrages bis zur Fertigstellung des letzten Teiles eines Auftrages aufgezeichnet. Zum WIP-Bestand zählen alle Teile in der Fertigung, außer jene, die bereits fertig gestellt wurden und zum Versand bereit sind.

Im folgenden Kapitel werden kurz die zwei wesentlichen Experimente und deren Unterschiede beschrieben, die auch die Entscheidung gestützt haben, die CONWIP-Steuerung einzusetzen.

### **Experiment 1: Abbildung der Ist-Situation**

Als Ausgangsdaten dienen die Kundenbedarfstermine für das Jahr 2011. Der Meister startet, solange kein Großauftrag in Aussicht ist, ca. 30 Arbeitstage vor Bedarfstermin. Das ist auch der früheste Starttermin für die Simulation.

Die Losgrößen werden auch entsprechend der Praxis in fixen Losgrößen produziert und wie bereits beschrieben, mit bestimmten Abarbeitungsregeln bearbeitet.

### **Experiment 2: CONWIP-Steuerung**

Als Ausgangsdaten dienen wie im ersten Experiment die Kundenbedarfstermine für das Jahr 2011. Als Einlastregel dient ebenfalls wie im Experiment 1 die Reihenfolge der MRP Starttermine. Die Stellgrößen der CONWIP-Steuerung wurde aufgrund von empirischen Daten ermittelt: Der Vorgiffshorizont ist zufällig auch 30 Arbeitstage. Der Kapazitätstrigger wurde zu Vergleichszwecken nicht berücksichtigt, da im ersten Experiment die Schichten auch nicht angepasst wurden. In der Literatur<sup>153</sup> sind 80% des derzeitigen Umlaufbestandes als WIP-Grenze empfohlen. Im Experiment 1 war der durchschnittliche WIP-Bestand 280 Teile. Daher wurde auch eine Bestandgrenze von 230 Teilen definiert. Die Abarbeitungsregeln wurden, im Vergleich zum Experiment 1, nicht verändert.

## **5.3 Ergebnisse**

Während der Simulationsläufe hat sich herausgestellt, dass zwar die Durchlaufzeiten im Schnitt über 30 Tage betragen, aber die Bedarfe in beiden Experimenten zu über 90 % rechtzeitig oder zu früh beliefert wurden. Um die 100 % zu erreichen wären stellenweise Kapazitätserhöhungen notwendig gewesen. Um jedoch die gleichen Be-

---

<sup>153</sup> Vgl. Jodlbauer (2010), S. 19

dingungen für beide Experimente zu gewährleisten, wurde auf die Kapazitätsanpassungen verzichtet.

Die WIP-Bestände in den einzelnen Monaten haben sich unterschiedlich entwickelt wie in Abbildung 26 zu sehen ist.

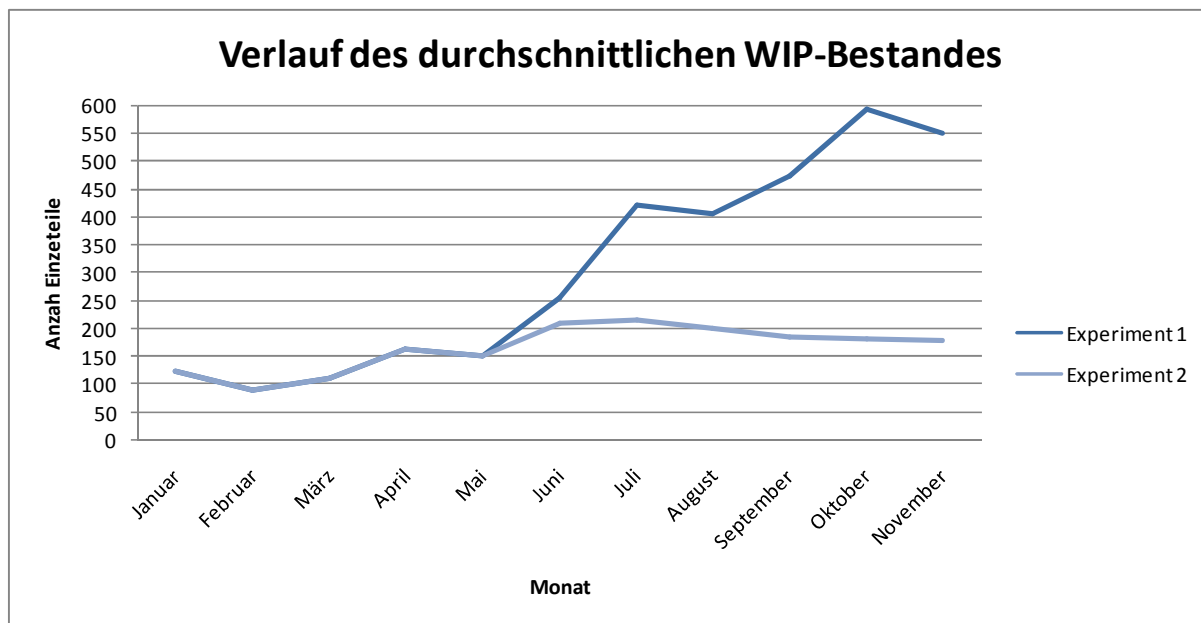
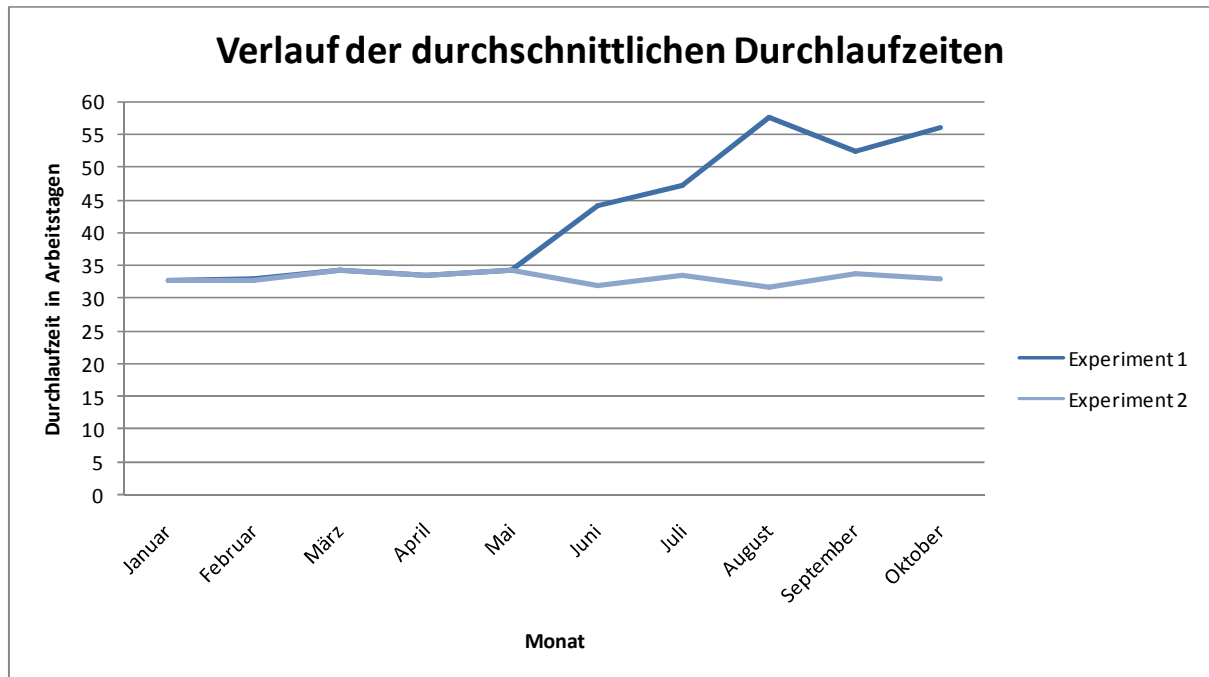


Abbildung 26: Durchschnittliche WIP-Bestände pro Monat 2011<sup>154</sup>

Bis Mai kommt die WIP-Grenze nicht zu tragen, da die Nachfrage nicht sehr hoch ist. Ab Juni jedoch ist der Bedarf an Pleuel gestiegen und in Experiment 1 somit auch der Bestand in der Fertigung, da es keine Bestandsregelung gibt. Der Verlauf in Experiment 2 hingegen, bleibt konstant um die 200 Stück. Dieses Ergebnis spricht dafür, dass eine CONWIP-Steuerung bei den aktuellen Gegebenheiten Sinn macht, da die Liefertreue der Simulationsergebnisse ca. die gleiche bleibt. Der Unterschied von bis zu 400 Stück WIP-Bestand wird als nicht realistisch angesehen, da der Meister, bei so hoher Bedarfslage die Kapazitäten anpassen oder eine Nivellierung durchführen würde und der WIP-Bestand nicht so hoch steigen könnte.

Die zweite Zielgröße die untersucht wurde ist die Durchlaufzeit. In folgender Abbildung sind die unterschiedlichen Verläufe dargestellt.

<sup>154</sup> Eigene Abbildung (2011)



**Abbildung 27: Durchschnittliche Durchlaufzeit pro Monat 2011<sup>155</sup>**

Wie beim WIP-Bestand erkennt man die Veränderungen erst ab dem Monat Mai. Im Experiment 1 erhöhen sich diese durch die Überlastung der Maschinen. In Experiment 2 werden die Aufträge zwar später gestartet, aber ca. zum gleichen Termin fertig gestellt. Die Durchlaufzeiten schwanken kaum. Um eine höhere Liefertreue zu erreichen, müsste in beiden Experimenten die Kapazitäten ab Mai erhöht werden.

Die Ergebnisse der Simulation spiegeln die Schlüsse der theoretischen Ausarbeitung wider. Eine CONWIP-Steuerung sorgt für eine Bestandregelung in der Fertigung und stabilisiert die Durchlaufzeiten.

Bei den Simulationen ist unter Anderem auch aufgefallen, dass die Engpässe in der Fertigung stark vom Produktmix abhängen. Die Auslastung der Fräsmaschinen ist auch stark von diesem abhängig. Das liegt daran, dass die Möglichkeit, alternative Maschinen zu verwenden, außer Betracht genommen wurde. In der Realität ist es wichtig, die Belastungen auszugleichen. Weiters ist aufgefallen, dass der Puffer vor der Drehmaschine stark belastet wurde. Der Grund dafür ist wahrscheinlich, dass die zweite Drehmaschine, die zurzeit bei hoher Auslastung eingesetzt wird, nicht simuliert wurde.

<sup>155</sup> Eigene Abbildung (2011)

Zusammenfassend ist zu sagen, dass die Entscheidung, die Fertigung nach dem CONWIP-Prinzip zu steuern, durch die Simulation verifiziert werden konnte. Dies war aber nur durch eine zeitintensive und detaillierte Modellierung der Fertigung möglich.

## 6 Konzept

Zur Bewältigung der Problemfelder wurde mit Hilfe der Ergebnisse der Simulation Verbesserungsmaßnahmen ausgearbeitet und teilweise auch umgesetzt.

Die wichtigsten Verbesserungsvorschläge werden in diesem Kapitel erläutert und abschließend in einem Maßnahmenplan detailliert die geplante Umsetzung beschrieben. Die grundlegende Verbesserungsidee ist die Einführung einer CONWIP-Steuerung. Die geplanten und bereits umgesetzten Veränderungen werden beschrieben.

### 6.1 Anpassen der Starttermine

Um den Bestand der Rohteile zu verringern ist es wichtig die Liefertermine den Ist-Startterminen abzugleichen. Da die Bedarfstermine an Rohpleuel aus dem MRP-Lauf festgelegt werden, muss dieser analysiert und angepasst werden.

Den größten Einfluss auf die falsche Terminierung haben die langen Wartezeiten, welche an den Arbeitsplätzen eingetragen sind und damit in der Terminierung berücksichtigt werden. In folgender Tabelle sind die Wartezeiten pro Arbeitsplatz aufgelistet. Für den kritischen Pfad der am häufigsten produzierten Pleueltypen wird aufgezeigt, wie viele Stunden Wartezeit insgesamt die Terminierung verlängern.

**Tabelle 10: Terminierungsrelevante Wartezeiten an den Arbeitsplatzgruppen<sup>156</sup>**

Arbeitsgruppe	Bezeichnung	Wartezeit [h]	Pleuelstange 48/60 B		Pleuelstange 32/40	
			Anzahl AVOs	Wartezeit ges. [h]	Anzahl AVOs	Wartezeit ges. [h]
9025	Werkzeugeinst.	8	4	32	2	16
4859	Heckert 1600	12	2	24	2	24
9060	Entgraten	4	12	48	8	32
4865	Heckert 1250/P	12	0	0	1	12
9020	Waschen	4	2	8	2	8
9621	Kugelstrahlen	6	2	12	2	12
9784	Fluten	9	1	9	1	9
7479000	Kontrolle	8	1	8	2	16
0001	Bereitstellen	14	1	14	1	14
3830	Tibo	9	1	9	1	9
2025	EMCO	8	1	8	0	0
9330	Anreißen	7	1	7	1	7
7050	Säge	3	2	6	1	3
2033	Wohlenberg	4	0	0	1	4
4860	Heckert 1250	12	3	36	0	0
5359035	Waschen	3	1	3	1	3
<b>Summe</b>				<b>224</b>		<b>169</b>

Die Betrachtung der Wartezeiten alleine ist ohne die Berücksichtigung der dazugehörigen Kapazitäten wenig aussagekräftig, da diese in der Terminierung pro Auftrag ausschlaggebend sind. Das Kapazitätsangebot pro Arbeitsplatz wird in folgender Tabelle aufgelistet. Diese Daten wurden in SAP eingepflegt.

**Tabelle 11: Kapazitäten an den Arbeitsplätzen<sup>157</sup>**

Arbeitsgruppe	Bezeichnung	von	bis	Pause [h]	Anzahl Maschinen/Personal	Tage pro Woche [d]	Kapazität pro Woche [h]
2025	EMCO	06:00:00	22:00:00	1,25	1	5	73,75
2033	Wohlenberg	06:00:00	14:00:00	0,75	1	5	36,25
3830	Tibo	06:00:00	14:00:00	0,75	1	5	36,25
4859	Heckert 1600	06:00:00	22:00:00	1,25	1	5	73,75
4860	Heckert 1250	06:00:00	22:00:00	1,25	1	5	73,75
4865	Heckert 1250/P	06:00:00	22:00:00	1,25	1	5	73,75
4875	Solon 4	06:00:00	22:00:00	1,25	1	5	73,75
7050	Säge	06:00:00	14:00:00	0,75	1	5	36,25
9020	Waschen	06:00:00	22:00:00	1,25	2	5	147,50
9060	Entgraten	06:00:00	22:00:00	1,25	3	5	221,25
9061	Schlosserei	06:00:00	14:00:00	0,75	2	5	72,50
9330	Anreißen	06:00:00	14:00:00	0,75	1	5	36,25
9621	Kugelstrahlen	06:00:00	22:00:00	1,25	1	5	73,75
9784	Rissprüfen	06:00:00	14:00:00	0,75	1	5	36,25

<sup>156</sup> Eigene Tabelle (2011)

<sup>157</sup> Eigene Tabelle (2011)



Das Ziel ist es, eine ungefähre Eigenfertigungszeit von 30 Tagen zu erreichen, jedoch wurde diese im ersten Schritt nur auf 35 Tage verkürzt, um einen Mangel an Rohteilen vorzubeugen. Es wurde so vorgegangen, dass die Wartezeiten an den Arbeitsplätzen entfernt und eine kumulierte Wartezeit an Abnahmemearbeitsvorgängen eingetragen wurde. Das Ergebnis ist in Abbildung 28 zu sehen.

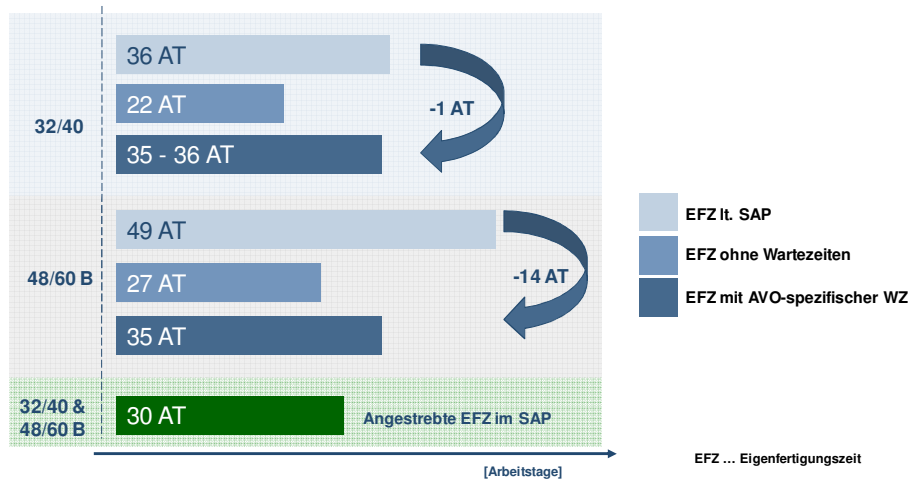


Abbildung 28: Verkürzung der Wartezeiten<sup>158</sup>

Nach der Anpassung der Wartezeiten wurden alle Eckstarttermine von neu generierten Planaufträgen kontrolliert und die prognostizierten Eigenfertigungszeiten realisiert. Als nächster Schritt können die Eigenfertigungszeiten um weitere fünf Tage verkürzt werden, da die Erfahrungen in der Praxis gezeigt haben, dass noch immer ein hoher Rohteilbestand auf Lager liegt. Dies liegt auch an den Motorverschiebungen, welche sehr kurzfristig erfolgen und dispositiv keine Reaktion mehr möglich macht. Ziel ist es jedoch, die Beschaffung der Teile auf Lieferplanabruf<sup>159</sup> umzustellen, da auch die großen Beschaffungslose (bis zu 56 Stück pro Los) Auswirkung auf den Lagerbestand haben.

<sup>158</sup> Eigene Abbildung (2011)

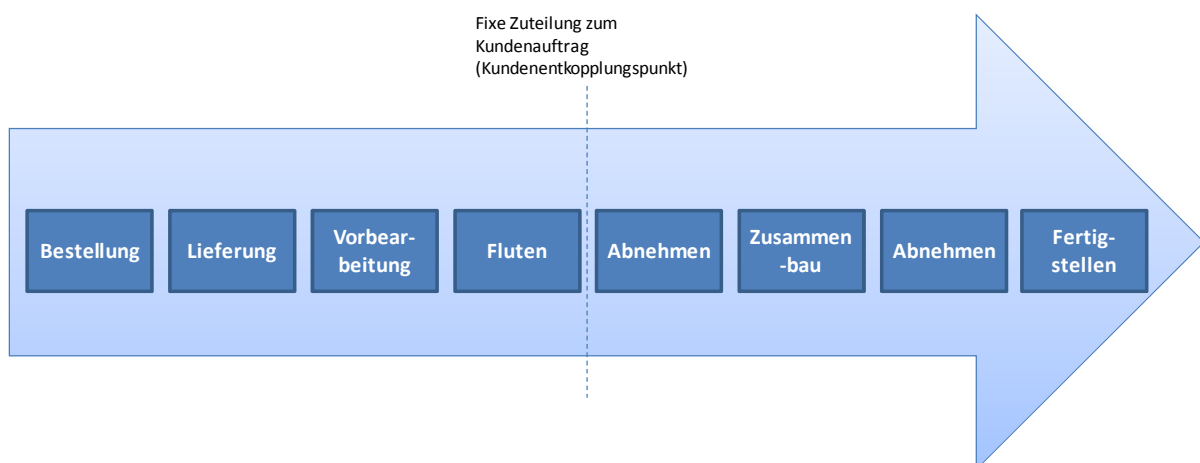
<sup>159</sup> Der Lieferplan ist eine Liste der Bedarfe in naher Zukunft mit den gewünschten Lieferterminen, die dem Lieferanten in regelmäßigen Zeitabständen aktualisiert zugeschickt wird. Über die Gesamtabnahmemenge gibt es einen Rahmenvertrag, der Lieferplanabruf bezieht sich auf Teilmengen in den benötigten Losen.

## 6.2 Ablösung der Vorratsaufträge

Für die Pleuel gibt es keinen systemmäßig definierten Kundenentkopplungspunkt. Die Pleuel werden als Vorratsaufträge, d.h. ohne Kundenauftragsbezug, im System eingelastet (siehe auch Kapitel 4.5.3). Da es immer wieder zu Terminverschiebungen von Aufträgen kommt, kann der Meister aufgrund der kundenanonymen Produktion flexibel darauf reagieren.

Er kann somit bis zum Rissprüfen die Vorratsaufträge für verschiedene Kundenaufträge des gleichen Typs nutzen. Für ihn ist der tatsächliche Kundenentkopplungspunkt also das Rissprüfen. Diese Flexibilität soll nicht gänzlich genommen werden, jedoch ist es sinnvoll, ab dem Rissprüfen auch im System die Aufträge den Kundenbedarfen direkt zuzuordnen. Dies sollte ab der Abnahme beim Rissprüfen im System geschehen.

Zur Orientierung werden in Abbildung 29 die groben Prozessschritte gezeigt und der Kundenentkopplungspunkt eingezeichnet.



**Abbildung 29: Geplanter Kundenentkopplungspunkt<sup>160</sup>**

In der geplanten Umsetzung stellt sich die programmierte Netzstruktur im SAP der MDT als Restriktion heraus. Diese Netze wurden vor einigen Jahren programmiert zur Erleichterung des Informationsflusses zwischen zusammenhängenden Aufträgen. Es ist nicht möglich, Netze für Teile, die einem Kundenbedarf direkt zugeordnet sind, zu erstellen. Diese Netze stellen auch in anderen Fertigungsbereichen Probleme dar und es entstand aus dieser Masterarbeit ein neues Projekt zur Ablösung der „Bestimmung

<sup>160</sup> Eigene Abbildung (2011)

zu Vorrat“-Auftragsnetze. Für dieses Projekt wird die Pleuefertigung als Pilotbereich herangezogen und es soll bis September 2012 umgesetzt werden.

### 6.3 Einführung der CONWIP-Steuerung

Die theoretische Ableitung und die Ergebnisse der Simulation sprechen für eine Steuerung nach den CONWIP-Prinzipien. Während der Analysephase hat sich ebenfalls herausgestellt, dass es sinnvoll ist, den CONWIP-Regelkreis bis zum Rissprüfen (Kundenentkopplungspunkt) anzusetzen. Diese Systemgrenze wurde darum gewählt, da die Abnahmen einerseits ein variierender Zeitfaktor sind und andererseits es geplant ist, die Losgrößen für die Pleuel ab der Abnahme zu verändern. Hier müsste ein neuer CONWIP-Regelkreis angelegt werden. Dies könnte in einem zweiten Schritt verwirklicht werden.

Für die Einführung der CONWIP-Steuerung sind vier wichtige Parameterentscheidungen zu treffen, wobei Punkt 3 und 4 nicht in den Umfang dieser Arbeit fallen:

1. Einlastregel:

Nachdem der CONWIP-Steuerung ein MRP-Lauf vorgelagert ist, ist es sinnvoll die Aufträge nach den errechneten frühesten Startterminen anzuordnen und in dieser Reihenfolge zu starten.

2. Abarbeitungsregel

An den verschiedenen Maschinen sind unterschiedliche Abarbeitungsregeln einzusetzen. Es muss auf die Rüstzeiten und die besonderen Gegebenheiten an den Fräsen mit den vier Paletten geachtet werden. Der erarbeitete Vorschlag, dargestellt in Tabelle 12 ist in der Praxis zu prüfen: Ebenfalls zu kontrollieren sind die notwendigen Gegebenheiten um diese Abarbeitungsregeln einzuhalten.

**Tabelle 12: Vorgeschlagene Abarbeitungsregeln<sup>161</sup>**

Arbeitsgruppe	Bezeichnung	Abarbeitungsregel
2025	Drehmaschine	FISFO: Die Drehmaschinen weisen hohe Rüstzeiten auf, daher macht es keinen Sinn nach FIFO-Prinzip zu arbeiten
2033		
4859	Fräsmaschinen	Für die Fräsen empfiehlt sich eine rüst- und belegungsoptimierte Abarbeitung, wie sie heute bereits läuft, jedoch ohne zusätzliche Information vom Meister
4860		
4865		
4875		
9020	Schlosserei	FIFO: An diesen Arbeitsplätzen kann unter Voraussetzung fixer Puffer FIFO in der Fertigung eingesetzt werden. Zusätzlich muss bewerkstelligt werden, dass die Teile so an die Arbeitsstation weitergeleitet werden, dass die Werker anhand der Anordnung der Paletten die richtige Reihenfolge erkennen.
9060		
9061		
9330	Anreißen	
7050	Säge	
3830	Tibo	

### 3. WIP-Grenze

Es wird empfohlen anhand der zur Verfügung stehenden Daten die optimale WIP-Grenze zu errechnen. Eine Berechnungsmöglichkeit dafür ist im Buch „Produktionsoptimierung“ von Jodlbauer<sup>162</sup> aufgezeigt. Für die Einführung der CONWIP-Steuerung hat es sich im Rahmen einer empirischen Studie als geeignet erwiesen, mit 80% des derzeitigen Umlaufbestandes als WIP-Grenze bei der Einführung zu starten. Diese kann dann weiter bei Bedarf gesenkt werden, wobei immer die Liefertreue beachtet werden muss.<sup>163</sup>

### 4. Vorgriffshorizont

Auch für die Berechnung dieses Parameters beschreibt Jodlbauer<sup>164</sup> eine Methode, wie dieser gewählt werden kann. Es empfiehlt sich auch hier, eher großzügig anzufangen und sich langsam ans Optimum zu nähern.

Die genaue Parameterbestimmung und die Umsetzung werden in einer auf diese Masterarbeit aufbauende Bachelorarbeit behandelt.

<sup>161</sup> Eigene Tabelle (2011)

<sup>162</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S. 325 ff.

<sup>163</sup> Vgl. Jodlbauer (2010), S. 19

<sup>164</sup> Vgl. Jodlbauer (2008), S. 325 ff.

## 6.4 Rückmelden durch die Werker

Der Rückmeldeprozess ist umständlich, nicht zeitnah und verschafft dem Meister und Gruppenführer zusätzliche Arbeit. Um diesen Arbeitsaufwand zu verringern, sollen zusätzlich Rückmeldeterminale installiert werden. Somit setzen sich die Werker auch mit dem Arbeitsfortschritt auseinander und haben einen besseren Überblick. Auch über SAP kann der Arbeitsfortschritt verfolgt und damit eine höhere Transparenz erzielt werden.

Wird dieser Schritt umgesetzt, ist es besonders wichtig mit dem Meister auszuarbeiten, wie er mit Hilfe von SAP, die für ihn interessanten und wichtigen Informationen auswertet. Durch die falschen Starttermine und Daten gibt es wenig Vertrauen ins System und nur notwendige Arbeiten werden im SAP erledigt.

Weiters muss gewährleistet werden, dass die Arbeiter die Arbeitskarten zur Rückmeldung erhalten und einen Überblick darüber bewahren können, wie viel bereits bearbeitet wurde.

Gerade in der Schlosserei bietet es sich an, Meilensteinrückmeldungen einzuführen, da dort oft mehrere Arbeitsvorgänge hintereinander rückzumelden sind. Das bedeutet, dass wenn ein bestimmter Arbeitsvorgang rückgemeldet wird, auch die vorigen automatisch rückgemeldet werden. Zurzeit wird diese Methode im SAP noch nicht genutzt, daher ist diese Möglichkeit vor dem Einsatz noch im Detail zu testen.

## 6.5 Maßnahmenplan

Eine detaillierte Auflistung zur Umsetzung der Verbesserungsvorschläge wird im Maßnahmenplan erarbeitet.

**Tabelle 13: Maßnahmenplan<sup>165</sup>**

Nr.	Maßnahme	Zu erledigen bis	Fortschritt
<b>1</b>	<b>Korrektur der Wartezeiten an den Arbeitsplätzen</b>	<b>07/11</b>	<b>100%</b>
1.1	Pflege der Kapazitäten (Arbeitsplätze)	07/11	100%
1.2	Prüfen und Testen adäquater Wartezeiten	07/11	100%
1.3	Neue Terminierung aller Arbeitspläne für Pleuel	07/11	100%
1.4	Kontrolle der neue Terminierung und der Rohteilbestände	Laufend bis 04/2012	
<b>2</b>	<b>Ablösung der heutigen „Vorrat zu Bestimmung“ Auftragsnetze</b>	<b>08/2012</b>	<b>12%</b>
2.1	Testen und auswählen von Alternativen	05/2012	50%
2.2	Aufbau einer geeigneten Netzstruktur für Pleuel	07/2012	
2.3	Test an einem Pleueltyp	07/2012	
2.4	Roll-Out für alle anderen Pleueltypen	08/2012	
<b>3</b>	<b>Einführung der CONWIP-Steuerung</b>	<b>04/2012</b>	<b>30%</b>
3.1	Vorgeschlagene Abarbeitungsregeln überprüfen und festlegen	01/2012	50%
3.2	Fixe Pufferplätze festlegen	03/2012	10%
3.3	Bestimmung der Parameter für die CONWIP-Steuerung	03/2012	90%
3.4	Verständnis für die Steuerungsmethode sicherstellen	03/2012	30%
3.5	Mit Hilfe von Plantafeln die Fertigung parallel zum Meister steuern	03/2012	
3.6	Integration der CONWIP-Steuerung ins ERP-System	07/2012	

<sup>165</sup> Eigene Tabelle (2011)

Nr.	Maßnahme	Zu erledigen bis	Fortschritt
<b>4</b>	<b>Rückmelden der Arbeitsvorgänge durch die Werker</b>	<b>09/2012</b>	
<b>4.1</b>	Testen von Rückmeldemöglichkeiten	06/2012	
<b>4.2</b>	Beschaffung und Installation der Terminals	08/2012	
<b>4.3</b>	Schulung der Werker	08/2012	
<b>4.4</b>	Anpassung der Auswertungen des Meisters	09/2012	

Die Erstellung des Konzeptes und der nötigen Umsetzungsmaßnahmen ist ein wichtiges Ziel dieser Masterarbeit. Teilweise konnten die definierten Aktionen schon umgesetzt und erste Erfolge verbucht werden. So ist z.B. die Annäherung der SAP-Starttermine an die realistischen Starttermine in der Praxis schon implementiert. Weiters wurden neue Projekte wie z.B. die Ablösung der „Vorrat zu Bestimmung“-Auftragsnetze gestartet um die Optimierung voranzutreiben. Auch die Umsetzung der CONWIP-Steuerung befindet sich im fortgeschrittenen Stadium.

Im letzten Kapitel werden die Möglichkeiten und Aussichten für weitere Verbesserungen diskutiert.

## 7 Fazit und Ausblick

Zusammenfassend ist zu sagen, dass eine realistische Produktionsprogrammplanung und exakte Datenpflege im System entscheidend für die Fertigungsplanung und -steuerung sind.

In einer historisch gewachsenen Werkstattfertigung mit manueller Steuerung kann, wie anhand der Pleuefertigung bei MDT dargestellt, ein sehr komplexer Prozess entstehen. Die geringe Nutzung des SAP Systems und das Ausweichen auf Microsoft Office Lösungen, führen zu Intransparenz für anderen Abteilungen. Auch die Werker verlieren immer wieder den Überblick im gesamten Prozess. Der Meister achtet darauf, dass seine Maschinen so gut wie möglich ausgelastet sind. Auch die Akkordentlohnung ist ein Anreiz, immer genügend Aufträge in die Fertigung einzusteuern. Diese Vorgehensweise wirkt sich kontraproduktiv zu den Lean Management Zielen des Unternehmens aus. Dazu zählen geringe Durchlaufzeit, wenig WIP-Bestand und schlanke Prozesse.

Die Analyse der aktuellen Fertigungsprozesse war aufgrund der gewachsenen Komplexität sehr zeitintensiv. Anhand der Prozessanalyse konnten vier wesentliche Handlungsfelder abgeleitet werden:

- Anpassung der systemtechnisch hinterlegten Wartezeiten an den Arbeitsplätzen an realistische Werte, was zu einer Reduktion bei den Eigenfertigungszeiten im SAP führt
- Abschaffung der durchgehenden Vorratsauftragsnetze durch die Definition eines Kundenentkopplungspunktes in SAP und der Einführung neuer SAP Standardauftragsnetze
- Einführung einer CONWIP-Steuerung zur Regelung des Bestandes in der Fertigung und Bestimmung der Einlast- und Abarbeitungsregeln
- Rückmeldung der Arbeitsvorgänge in der Fertigung durch den Werker und nicht durch den Gruppenführer oder Meister

Einige dieser Maßnahmen wurden bereits umgesetzt, sind in Planung oder Bearbeitung. Wichtig im weiteren Verlauf wird die intensive Einbindung der Arbeiter in der Pleuefertigung (Meister bis hin zum Werker) sein. Dies soll Akzeptanz für die geplanten Änderungen schaffen. Vor allem bei der Umstellung der Steuerungsmethode ist die Mitarbeit der Arbeiter Voraussetzung für eine erfolgreiche Implementierung. Daher wurde z. B. zum Verständnis und Visualisierung der CONWIP-Steuerung ein LEGO-Spiel von einem Praktikanten entwickelt. Dieses Spiel zeigt anschaulich die Unter-



schiede (WIP-Bestand, Logik) zwischen der aktuellen und der geplanten zukünftigen Steuerung auf.

Für die Implementierung der CONWIP-Steuerung in der Fertigung müssen als nächstes eine detaillierte Berechnung des Vorgriffhorizontes und der WIP-Grenze durchgeführt werden. Nach Berechnung dieser Stellgrößen können die Werte im Rahmen weiterer Simulationsläufe verifiziert und validiert werden. Es soll auch getestet werden, in wieweit sich die Bestände und Durchlaufzeiten ändern, wenn man in exakten Losen<sup>166</sup> fertigt. Ein weiterer Punkt der durch die Simulation noch erarbeitet werden könnte, ist die PuffergröÙenauslegung vor den Maschinen. Da in der Fertigung wenig Platz vor den Maschinen besteht, wäre ein prognostizierter Platzbedarf hilfreich zur Planung.

Anfang 2013 soll in der Fertigung und Montage bei MDT ein MES eingeführt werden. Dieses dient grundsätzlich dazu, „die Produktion mit einem integrierten Informations- und Kontrollinstrumentarium zu steuern, um vorgegebene ZielgröÙen zu erreichen“<sup>167</sup>. Das zukünftig verwendete MES soll die belastungsorientierte Auftragsfreigabe unterstützen. Dessen genauer Einsatz in der Pleuefertigung muss noch erarbeitet werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass zur Einführung eines neuen Steuerungsverfahrens in einem Fertigungsbereich eine sehr gründliche und detaillierte Analyse der Gegebenheiten und Restriktionen notwendig ist. Bei MDT konnten schon durch die Umsetzung erster Maßnahmen positive Resultate erreicht werden.

---

<sup>166</sup> Exakte LosgröÙe bedeutet, dass die Auftragslose jenen der Bedarfe entsprechen.

<sup>167</sup> Thiel et al. (2008), S.1

## Literaturverzeichnis

Bangsow, Steffen: Fertigungssimulationen mit Plant Simulation und SimTalk, 1. Auflage, Hanser, München Wien, 2008, ISBN: 978-3-446-41490-7.

Carson, John S.: Introduction to modeling and simulation. In: Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference, 2005, 16 – 23.

Dangemaier, Wilhelm; Wiedenmann, Harald: Modell der Fertigungssteuerung, 1. Auflage, Beuth, Berlin, 1993, ISBN: 3-410-12922-7.

Dangemaier, Wilhelm: Fertigungsplanung – Planung von Aufbau und Ablauf der Fertigung, 1. Auflage, Springer, Berlin Heidelberg, 1999, ISBN: 3-540-65518-2.

Dickmann, Philipp: Schlanker Materialfluss: Mit Lean Production, Kanban und Innovationen, 2. Auflage, Springer, Berlin, Heidelberg, 2009, ISBN: 3-540-34337-7.

Engelhardt-Nowitzki, Corinna; Nowitzki, Olaf; Krenn, Barbara: Management komplexer Materialflüsse mittels Simulation – State-of-the-Art und innovative Konzepte, 1. Auflage, Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden, 2007, ISBN: 978-3-8350-0963-9.

Engelhardt-Nowitzki, Corinna; Nowitzki, Olaf; Krenn, Barbara: Praktische Anwendung der Simulation im Materialflussmanagement – Erfolgsfaktoren und Implementierungsszenarien, 1. Auflage, Gabler, Wiesbaden, 2008, ISBN: 978-3-8349-0884-5.

Eversheim, Walter; Schuh, Günther: Produktion und Management 4 - Betrieb von Produktionssystemen, 1. Auflage, Springer, Berlin Heidelberg, 1999, ISBN: 3-540-65454-2.

Golany, B.; Dar-El, E.M.; Zeev, N.: Controlling shop floor operations in a multy-family, multy-cell manufacturing environment through constant work-in-process. In IIE Transactions, 1999, Vol. 31, 771 – 781.

Jodlbauer, Herbert: Produktionsoptimierung – Wertschaffende sowie kundenorientierte Planung und Steuerung, 2. Auflage, Springer, Wien, 2008, ISBN: 978-3-211-78140-1.

Kistner, Klaus-Peter; Steven, Marion: Produktionsplanung, 3. Auflage, Psychica, Heidelberg, 2001, ISBN: 3-7908-1426-1.

Kletti, Jürgen; Schuhmacher, Jochen: Die perfekte Produktion – Manufacturing Excellence durch Short Interval Technik (SIT), 1. Auflage, Springer, Berlin, 2011, ISBN: 978-3-642-13844-7.

Kühn, Wolfgang: Digitale Fabrik – Fabriksimulation für Produktionsplaner, 1. Auflage, Hanser, München Wien, 2006, ISBN: 978-3-446-40619-3.

Lödding, Hermann: Verfahren der Fertigungssteuerung – Grundlagen, Beschreibung, Konfiguration, 2. Auflage, Springer, Berlin Heidelberg, 2008, ISBN: 978-3-540-76859-3.

Martin, Heinrich: Transport- und Lagerlogistik – Planung, Struktur, Steuerung und Kosten von Systemen der Intralogistik, 7. Auflage, Vieweg + Teubner, Wiesbaden, 2009, ISBN: 978-3-8348-0451-8.

Nyhuis, Friedhelm: Controlling and monitoring functions as supplement do MRPXX-systems. In *Journal of Materials Processing Technology*, 2000, Vol. 107, 439 – 449.

Nyhuis, Friedhelm: Methods and Tools for Dynamic Capacity Planning and Control. In: *Gestão & Produção*, 2002, Vol. 9 No. 3, 245 -260.

Nyhuis, Peter: Applying Simulation and Analytical Models for Logistic Performance Prediction. In *Annals of the CIRP*, 2005, Vol. 54, 417 – 422.

Nyhuis, Peter: Practical Applications of Logistic Operating Curves. In: *Annals of CIRP*, 2007, Vol. 56, 483 – 486.

Nyhuis, Peter: Beiträge zu einer Theorie der Logistik, 1. Ausgabe, Springer, Berlin Heidelberg, 2008, ISBN: 978-3-540-75641-5.

Perme, Tomaž: Modelling and Discrete Simulation for the Sustainable Management of Production and Logistics Issues. In: *Transactions of Famena*, 2011, Vol. 35 No. 1, 83 – 90.

Sargent, Robert G.: Verification and validation of simulation models. In: *Proceedings of the 2005 Winter Simulation Conference*, 2005, 130 – 143.

Schneider, Herfried M.; Buzacott, Jhon A.; Rücker, Thomas: Operative Produktionsplanung und –steuerung - Konzepte und Modelle des Informations- und Materialflusses in komplexen Fertigungssystemen, 1. Auflage, Oldenbourg, München, 2005, ISBN: 3-486-5769-7.

Schuh, Günther: Produktionsplanung- und Steuerung – Grundlagen, Gestaltung und Konzepte, 3. Auflage, Springer, Berlin Heidelberg, 2006, ISBN: 978-3-540-40306-7.

Tempelmeier, Horst; Günther, Hans-Otto: Produktion und Logistik, 7. Auflage, Springer, Berlin Heidelberg New York, 2007, ISBN: 978-3-540-74152-7.

Thiel, Klaus; Meyer, Heiko; Fuchs Franz: MES – Grundlage der Produktion von morgen, 1. Auflage, Oldenbourg Industrieverlag München, 2008, ISBN: 978-3-8356-3140-3

Wiendahl, Hans-Peter: Betriebsorganisation für Ingenieure, 4. Auflage, Hanser, Wien München, 1997, ISBN: 3-446-18776-6.

Wiendahl, Hans-Peter; Worbs, Jochen: Simulation based analysis of complex production systems with methods of non-linear dynamics. In: Journal of Materials Processing Technology, 2003, Vol. 139, 28 – 34.

## Webverzeichnis

Landesbank Berlin AG, "Konjunktur Deutschland",  
[www.lbb.de/landesbank/de/volkswirtschaft/ka\\_deutschland.pdf](http://www.lbb.de/landesbank/de/volkswirtschaft/ka_deutschland.pdf), Stand 10/2011,  
Abfrage 14.11.2011, MEZ 15:30.

Springer Gabler/Springer Fachmedien GmbH, „Wirtschaftslexikon“,  
<http://wirtschaftslexikon.gabler.de/Definition/engpass.html>, Abruf 20.01.1012, MEZ  
19:00.

Accounting Coach LCC, „Accounting Coach“,  
<http://www.accountingcoach.com/terms//inventory-work-in-process.html>, Abruf  
20.01.2012, MEZ: 19:15.

FH Oberösterreich, "Leitfaden zur Einführung von CONWIP",  
[http://research.fh-ooe.at/files/Leitfaden\\_CONWIP\\_Endversion.pdf](http://research.fh-ooe.at/files/Leitfaden_CONWIP_Endversion.pdf), Abruf 15.12.2011,  
MEZ 17:10.

## Tabellen- und Abbildungsverzeichnis

Tabelle 1: Vor- und Nachteile von Simulationen .....	33
Tabelle 2: Planungsebenen der Aufträge.....	41
Tabelle 3: Arbeitsgruppen in der Pleuefertigung .....	46
Tabelle 4: Verfälschende Einflussfaktoren auf die Eigenfertigungszeiten .....	50
Tabelle 5:Auszug aus Liste zur mittelfristigen Eigenfertigungsplanung .....	51
Tabelle 6: Auszug aus der Taktverknüpfungsliste .....	53
Tabelle 7: Auszug aus dem Durchlaufplan.....	53
Tabelle 8: Bestand an Rohpleuel im Lager .....	56
Tabelle 9: Bestand an WIP in der Pleuefertigung .....	57
Tabelle 10: Terminierungsrelevante Wartezeiten an den Arbeitsplatzgruppen.....	71
Tabelle 11: Kapazitäten an den Arbeitsplätzen .....	71
Tabelle 12: Vorgeschlagene Abarbeitungsregeln.....	75
Tabelle 13: Maßnahmenplan .....	77
Abbildung 1: Zielsystem der Produktionslogistik .....	6
Abbildung 2: Zielsystem der PPS .....	7
Abbildung 3: Aufgabensicht des Aachener PPS-Modells .....	8
Abbildung 4: Aufgaben der PPS.....	13
Abbildung 5: Organisationstypen der Produktion .....	15
Abbildung 6: Modell der Fertigungssteuerung.....	18
Abbildung 7: Illustration der vier MRP-Schritte .....	19
Abbildung 8: Funktionsweise KANBAN .....	21
Abbildung 9: Prinzip der CONWIP-Steuerung.....	23
Abbildung 10: Prinzip der BOA .....	25
Abbildung 11: Prinzip der Engpasssteuerung .....	26
Abbildung 12: Einteilung der Steuerungsarten nach ABC und XYZ Analyse .....	27
Abbildung 13: Darstellung MAN SE .....	36
Abbildung 14: Produktionsstandorte MDT .....	37
Abbildung 15: Organigramm Business Unit W .....	38
Abbildung 16: Häufig verwendete Datenermittlungsmethoden.....	43
Abbildung 17: Darstellung von großen (links) und kleinen Pleuel (rechts).....	45
Abbildung 18: Materialfluss in der Pleuefertigung .....	47
Abbildung 19: Modell der Auftragsnetzstruktur vom Motortyp 48/60 B mit einteiligem Rohling .....	49
Abbildung 20: Verteilung der Abweichungen vom Eck- zum Ist-Starttermin.....	55
Abbildung 21: Durchlaufzeit eines Fertigungsauftrages des Motortyps 48/60 B.....	57
Abbildung 22: Durchlaufzeiten der Aufträge für Pleuel 01.2010 bis 03.2011 .....	58
Abbildung 23: Systemgrenze der Materialflusssimulation.....	62

Abbildung 24: Pleuefertigung in Plant Simulation .....	64
Abbildung 25: Fräszentrum in Plant Simulation.....	65
Abbildung 26: Durchschnittliche WIP-Bestände pro Monat 2011 .....	67
Abbildung 27: Durchschnittliche Durchlaufzeit pro Monat 2011.....	68
Abbildung 28: Verkürzung der Wartezeiten .....	72
Abbildung 29: Geplanter Kundenentkopplungspunkt.....	73
Abbildung 30: Organigramm der Produktion am Standort Augsburg .....	1
Abbildung 31: Organigramm der Zentrallogistik.....	2
Abbildung 32: Organigramm der mechanischen Fertigung am Standort Augsburg .....	3
Abbildung 33: Auftragsabwicklungsprozess .....	4
Abbildung 34: Informationsflüsse in der Pleuefertigung.....	5
Abbildung 35: Wertstrom Pleueltyp 48/60 (I) .....	6
Abbildung 36: Wertstrom Pleueltyp 48/60 (II).....	7
Abbildung 37: Wertstrom Pleueltyp 48/60 (III).....	8
Abbildung 38: Wertstrom Pleueltyp 32/40 (I) .....	9
Abbildung 39: Wertstrom Pleueltyp 32/40 (II).....	10
Abbildung 40: Wertstrom Pleueltyp 32/40 (III).....	11





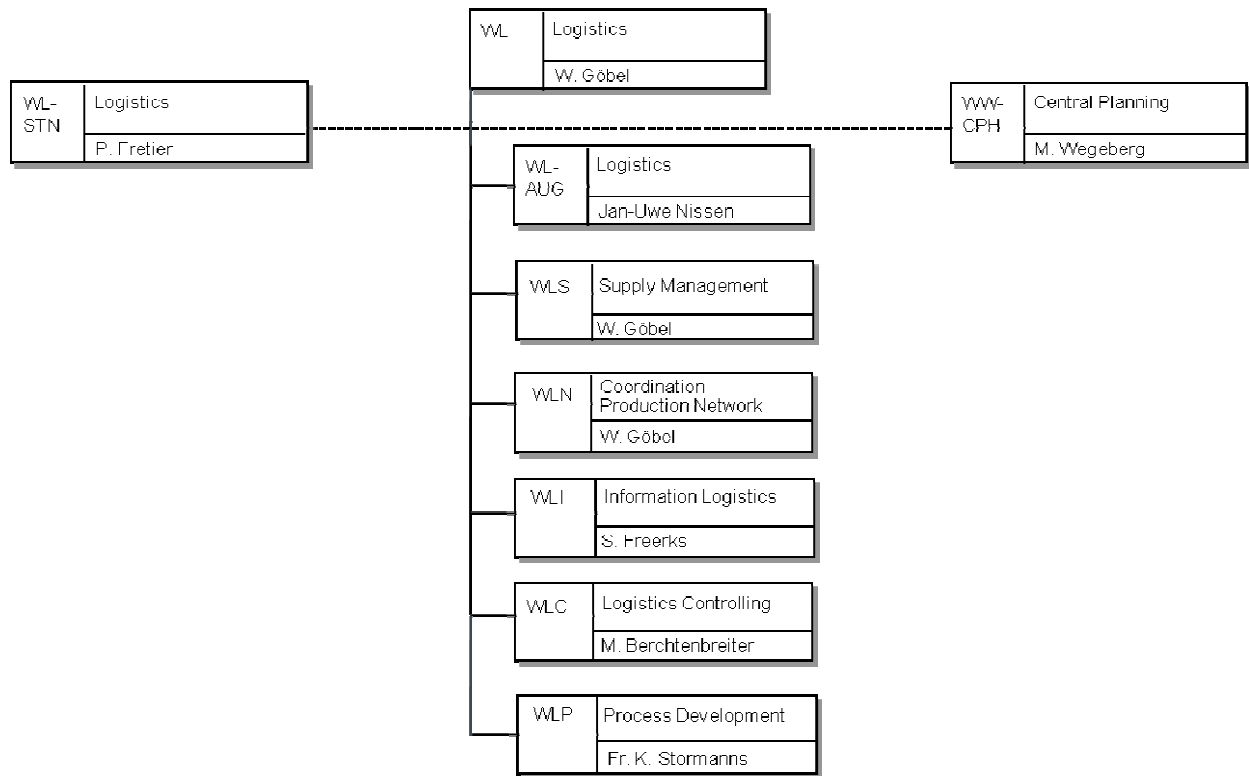


Abbildung 31: Organigramm der Zentrallogistik<sup>169</sup>

<sup>169</sup> Unternehmensinterne Daten (2011)

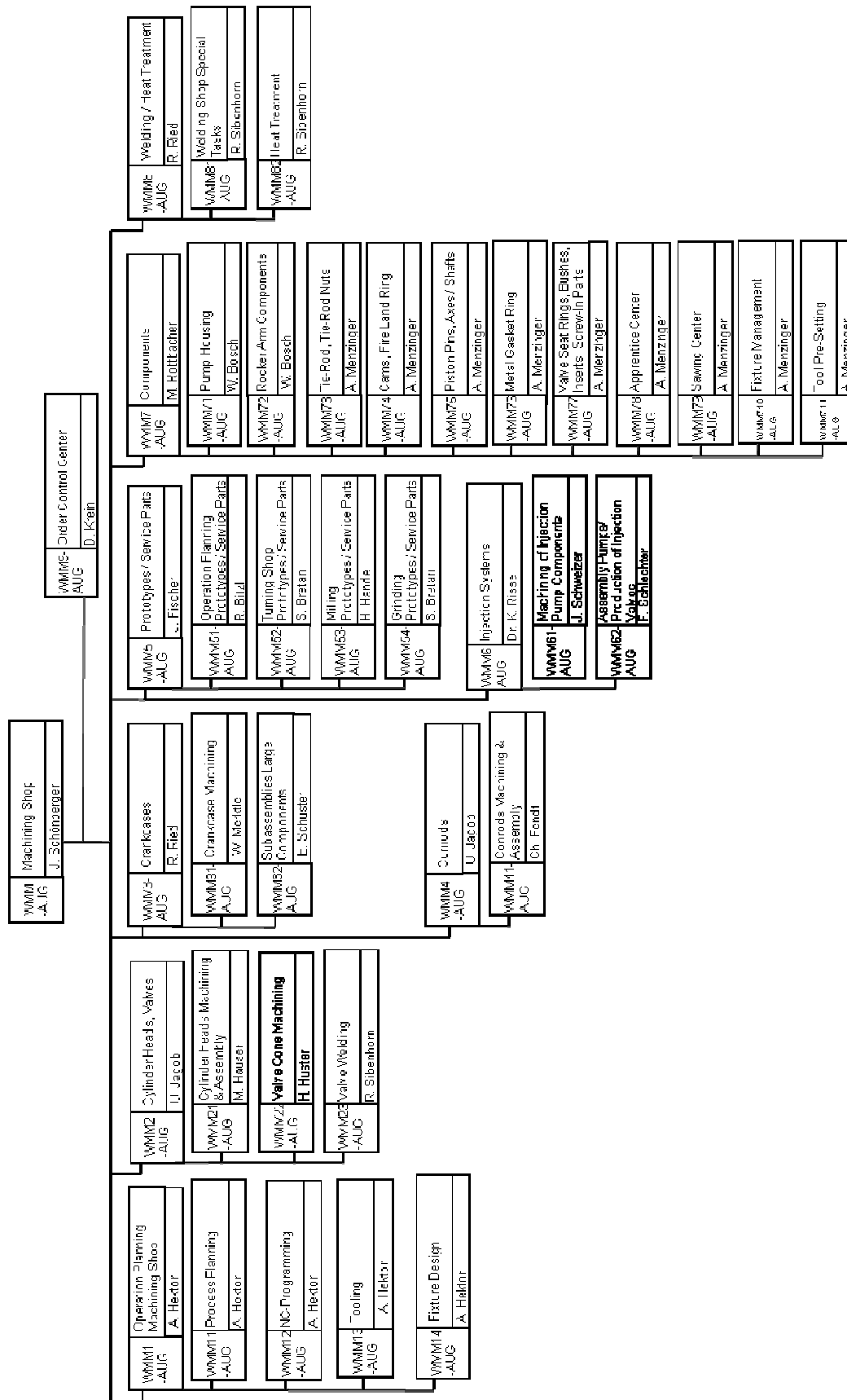


Abbildung 32: Organigramm der mechanischen Fertigung am Standort Augsburg<sup>170</sup>

<sup>170</sup> Unternehmensinterne Daten (2011)

# Anhang B – Prozessbeschreibungen

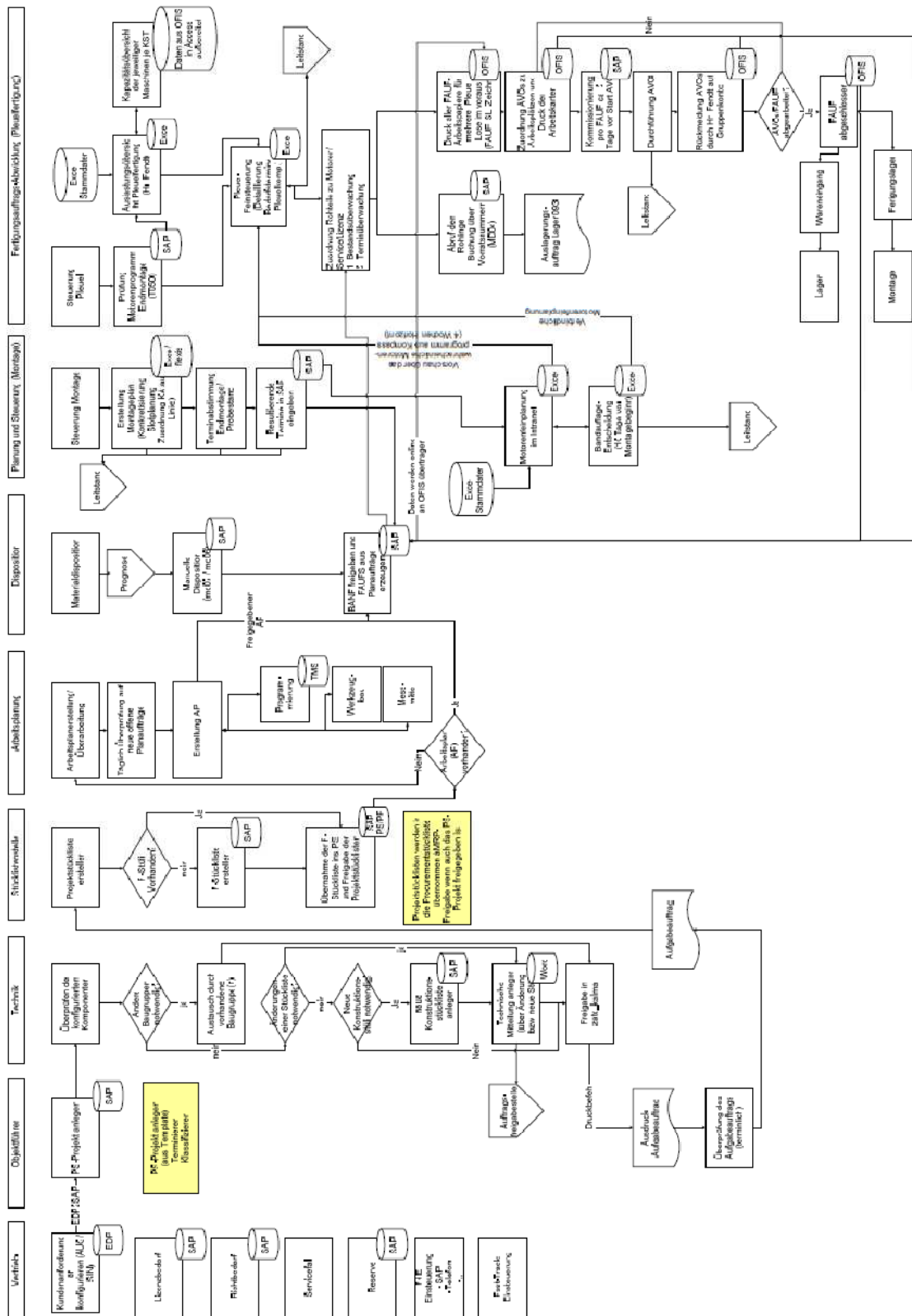


Abbildung 33: Auftragsabwicklungsprozess<sup>171</sup>

<sup>171</sup> Unternehmensinterne Daten (2010)

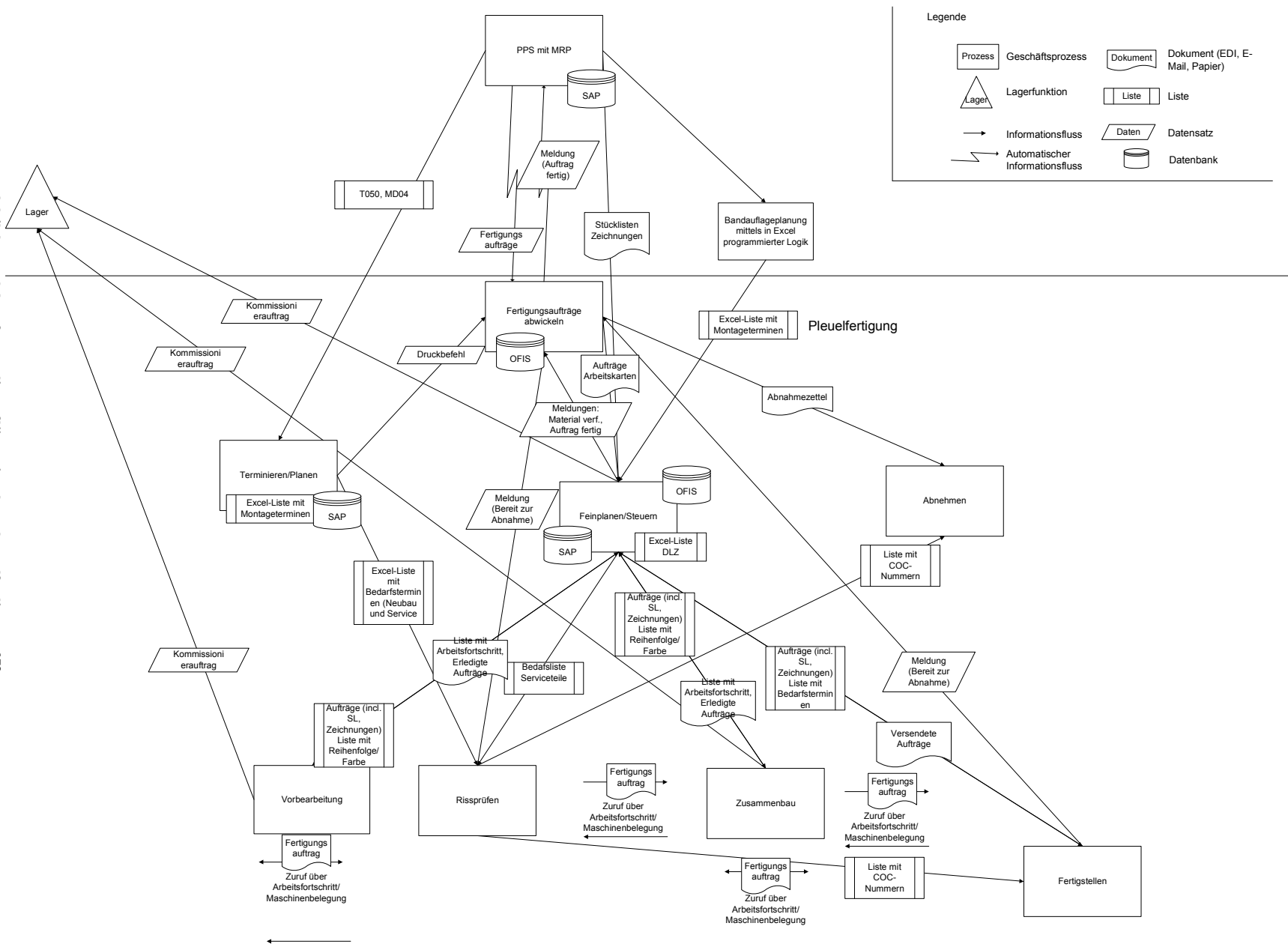


Abbildung 34: Informationsflüsse in der Pleuefertigung<sup>172</sup>

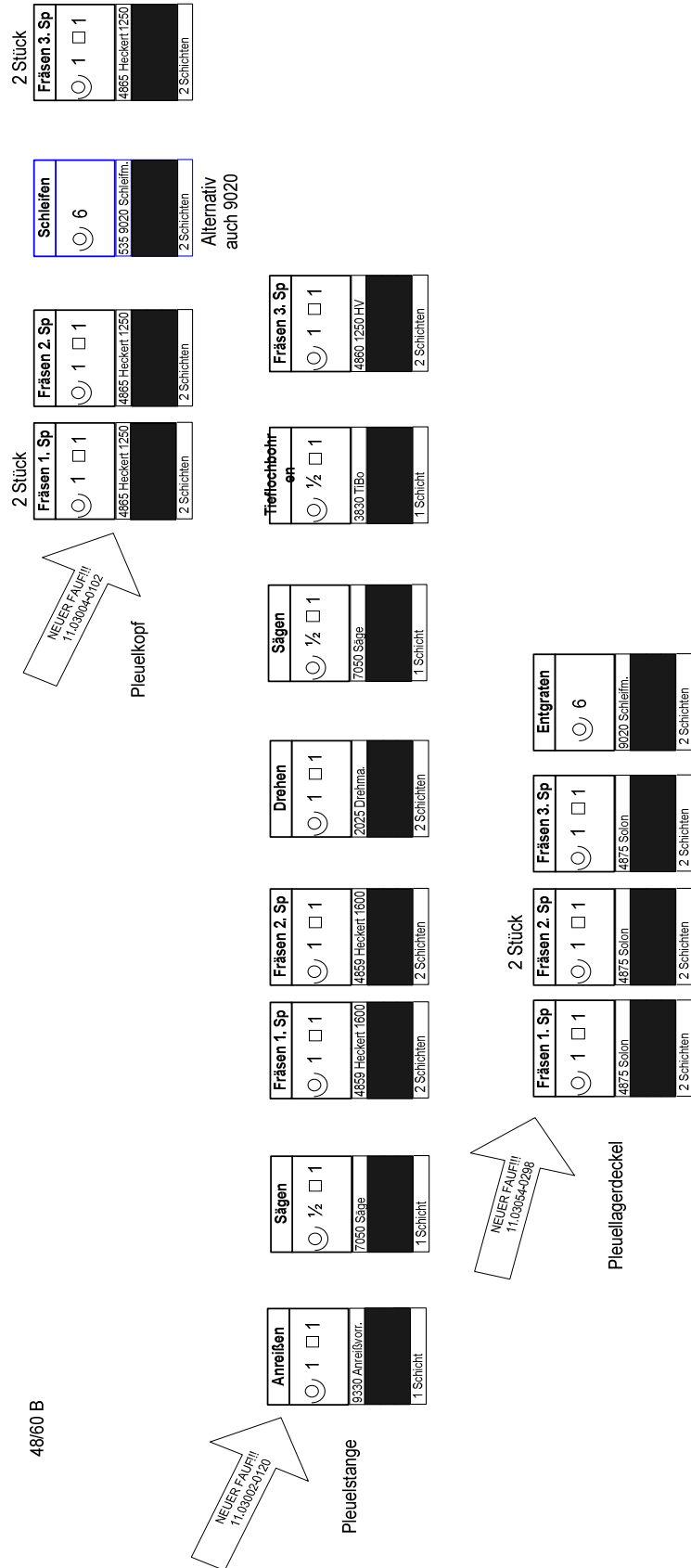


Abbildung 35: Wertstrom Pleueltyp 48/60 (I)<sup>173</sup>

<sup>173</sup> Eigene Abbildung

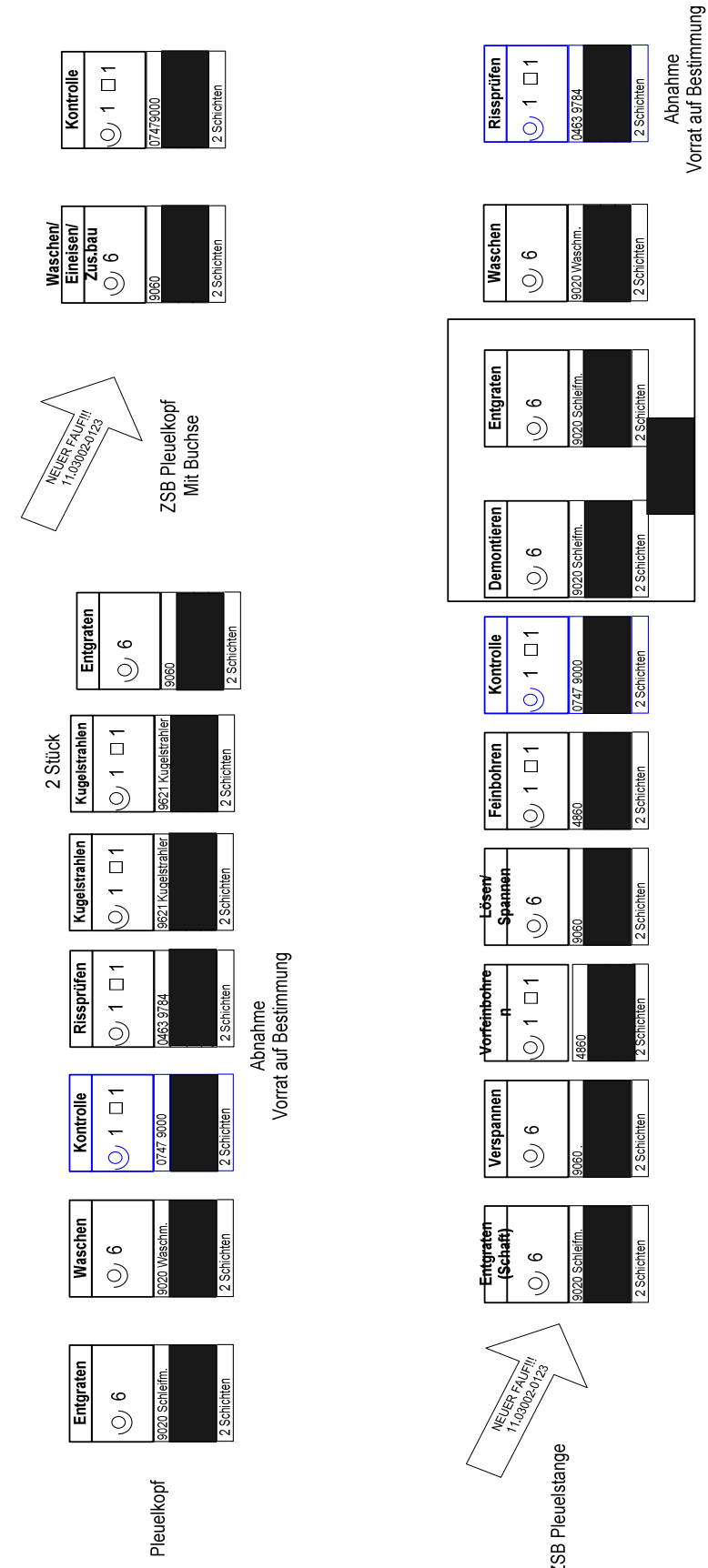


Abbildung 36: Wertstrom Pleueltyp 48/60 (II)<sup>174</sup>

<sup>174</sup> Eigene Abbildung

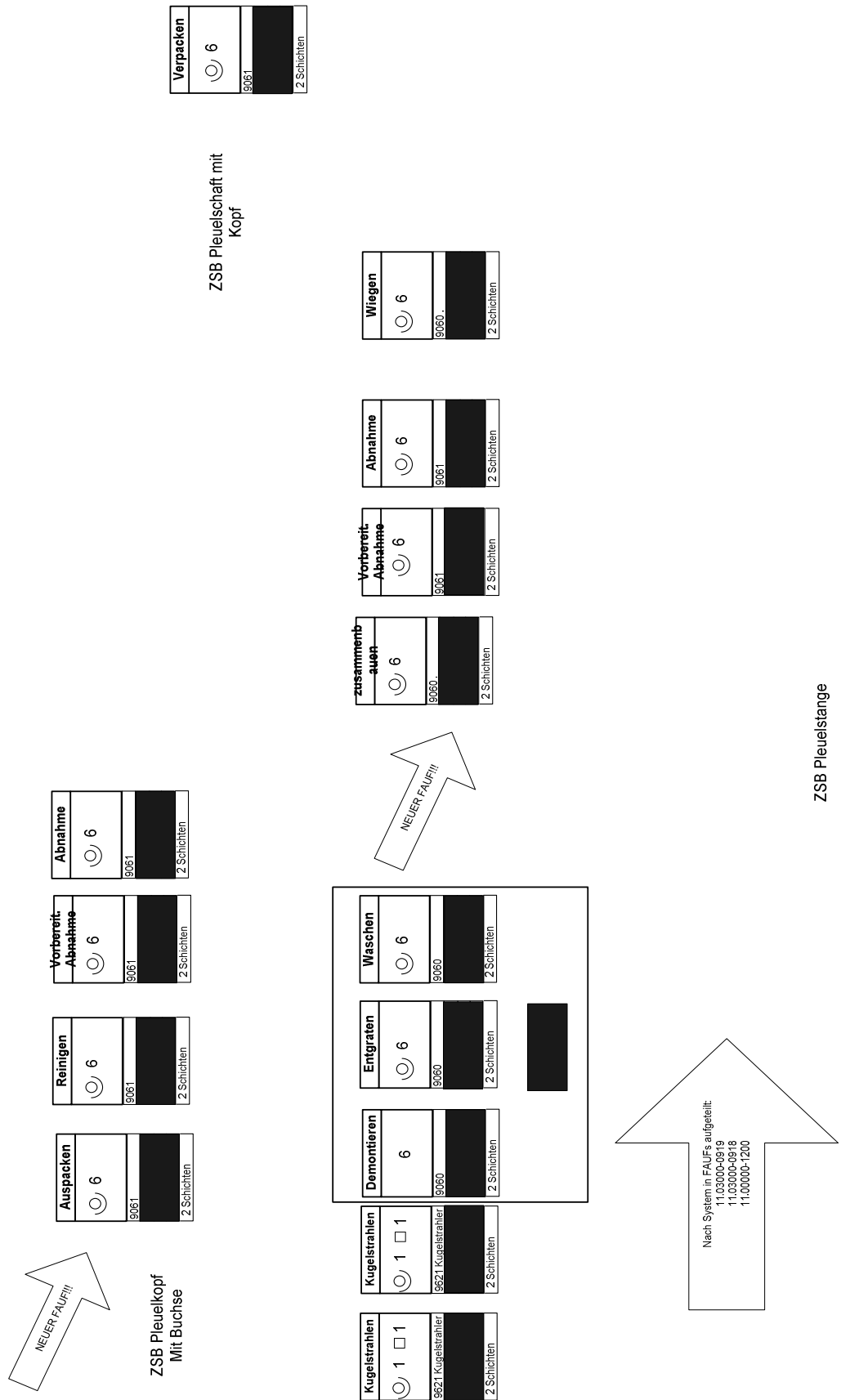


Abbildung 37: Wertstrom Pleueltyp 48/60 (III)<sup>175</sup>

<sup>175</sup> Eigene Abbildung

32/40

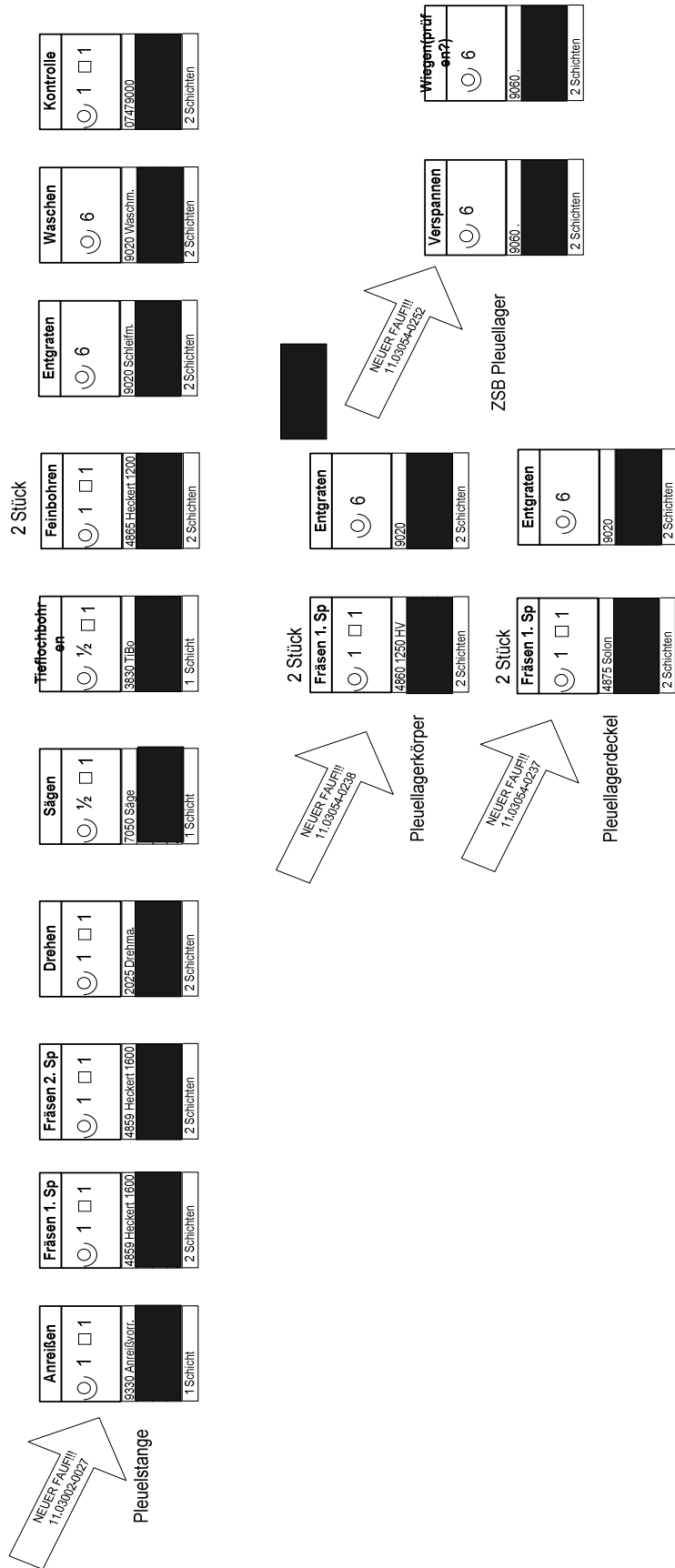


Abbildung 38: Wertstrom Pleuelstange 32/40 (I)<sup>176</sup>

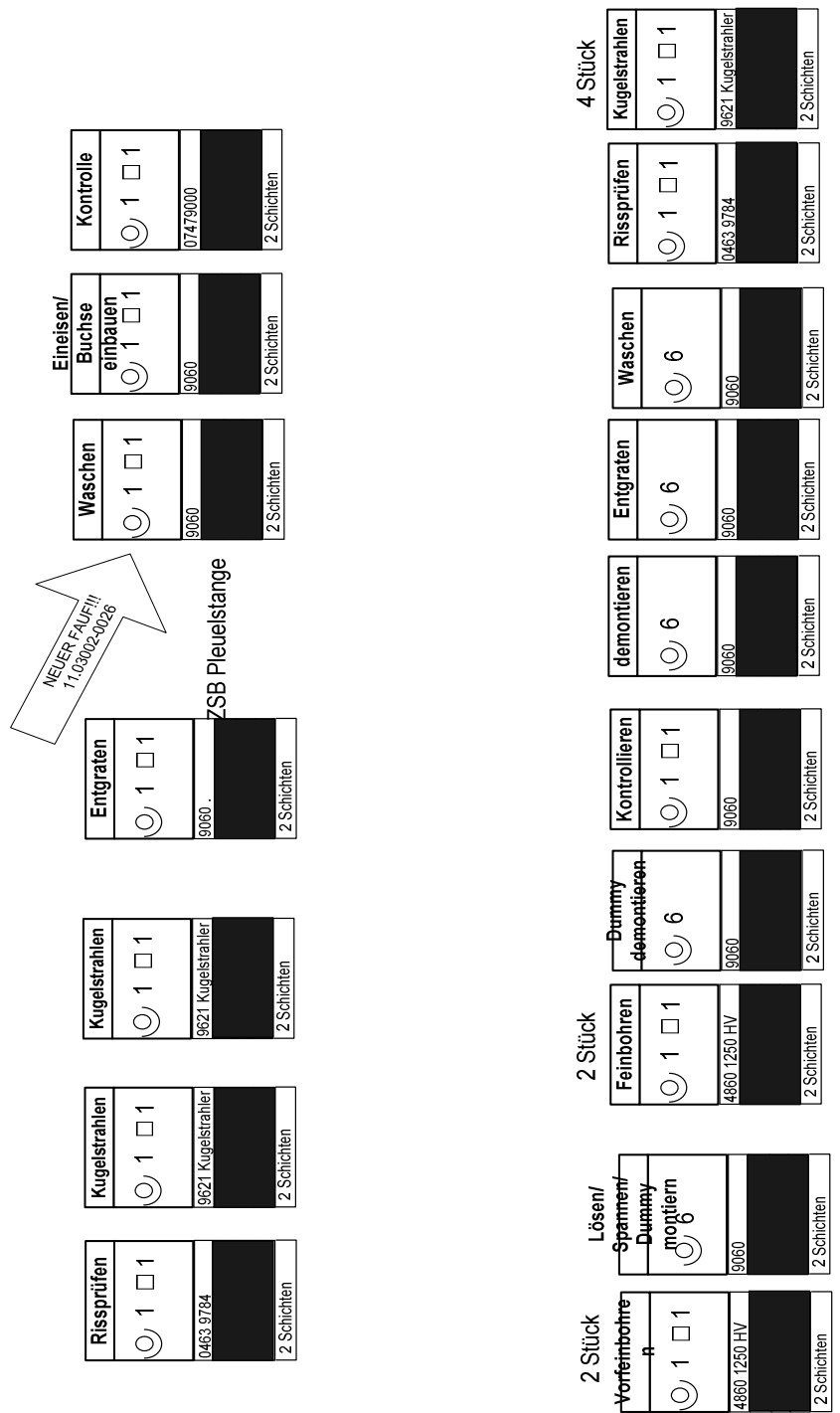
<sup>176</sup> Eigene Abbildung



32/40

Pleuelstange

Abbildung 39: Wertstrom Pleuelstange 32/40 (II)<sup>177</sup>



<sup>177</sup> Eigene Abbildung

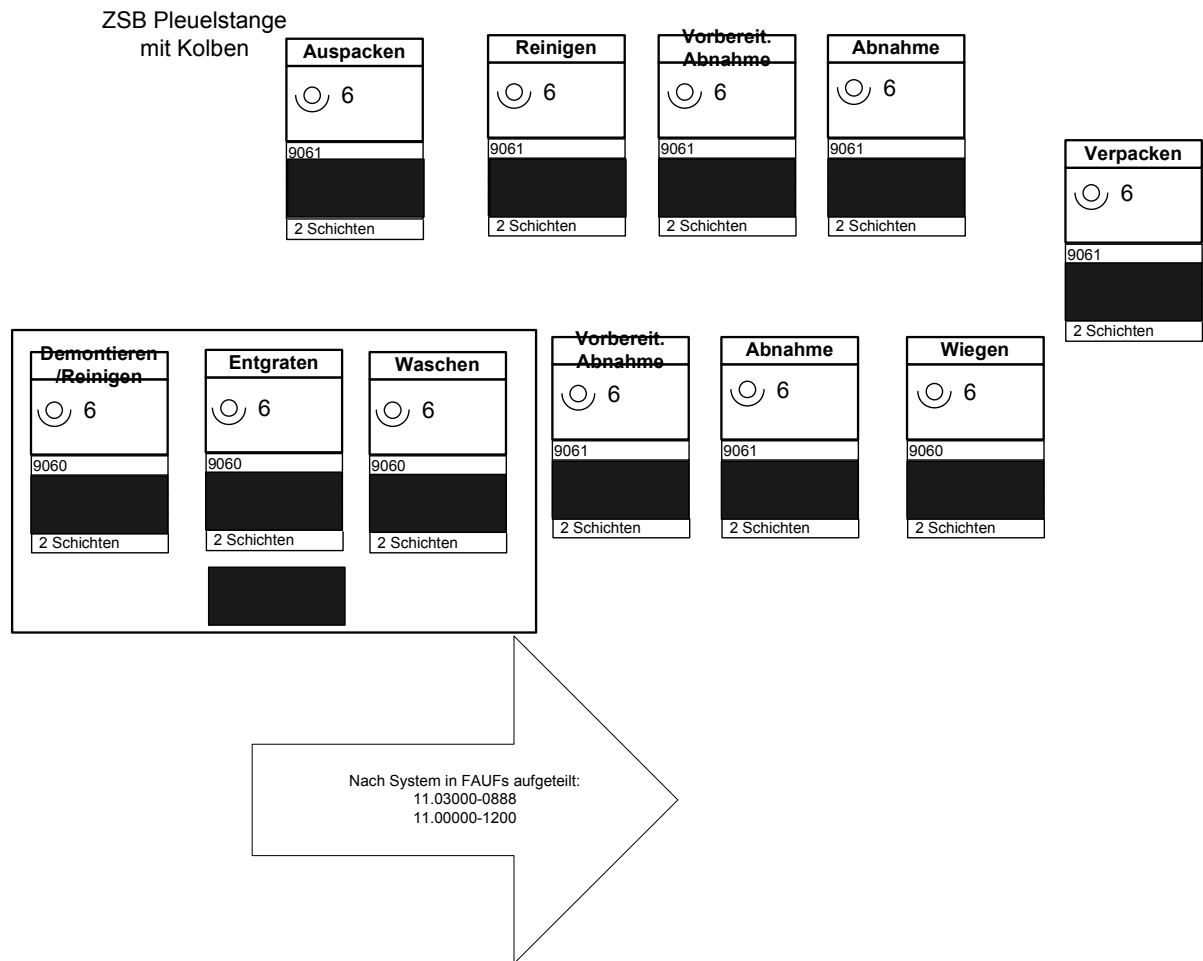


Abbildung 40: Wertstrom Pleuelstange 32/40 (III)<sup>178</sup>

<sup>178</sup> Eigene Abbildung

## Anhang C - Gesprächsprotokolle

Gesprächsprotokoll 1
Datum: 04.05.2011
Interviewter: Christian Fendt, WM, Meister in der Pleuefertigung
<p><b>Frage 1:</b> Was müssen Sie vorbereiten, damit Sie wissen wann, welcher Auftrag zu fertigen ist?</p> <p><b>Antwort:</b> Als Grundlage dient das Produktionsprogramm, von dort aus wird ca. 1 Monat zurückgerechnet, das ist der Zeitpunkt, wann die Aufträge zu starten sind. Aus dem Plan erstelle ich mir eine Liste mit allen notwendigen Informationen. Diese Liste dient auch als Grundlage für die Lieferung der Pleuel. Aus der Bandaufgabe und durch Telefonate werden dann genauere Informationen gewonnen und in die Liste gepflegt.</p>
<p><b>Frage 2:</b> Woher wissen Sie in wie vielen Schichten Sie fertigen müssen?</p> <p><b>Antwort:</b> In dieser Liste kontrolliere ich auch wie viele Pleuel pro Monat abzuliefern sind und teile meine Schichten danach ein, Änderungen sind natürlich möglich. Aber so habe ich einen Überblick für die nächsten 6 Monate.</p>
<p><b>Frage 3:</b> Nach welchen Regeln steuern Sie einen neuen Auftrag ein?</p> <p><b>Antwort:</b> Vom Bedarfstermin werden ca. 30 Tage zurückgerechnet, für St. Nazaire 50 so weiß ich wann ich beginnen sollte. Ich suche mir den nächsten Auftrag für den Pleueltyp aus OFIS oder SAP und steure diesen ein. Bei den 48/60er Pleuel entscheide ich je nach Auslastung und Produktmix ob ich ein- oder dreiteilige Rohlinge verwende. Die Aufträge werden dann gleich in der Taktverknüpfungsliste dem errechneten Motor zugeordnet. Die Zuordnung ändert sich jedoch im Laufe des Fertigungsprozesse öfters wegen Verschiebungen oder wenn Serviceteile zu fertigen sind.</p>
<p><b>Frage 4:</b> Werden die Serviceteile extra geplant?</p> <p><b>Antwort:</b> Die Bedarfe für Service sind nicht in meiner Liste, dafür muss ich im SAP für alle Typen kontrollieren, ob ein Servicebedarf dabei ist. Das Problem ist, dass die Pleuel immer verschwinden oder vertauscht werden, wenn ich ein Service- oder Reserveteil einlagere.</p>
<p><b>Frage 5:</b> Warum passiert das?</p>

**Antwort:** Ich nehme an weil es Vorratsteile sind.

**Frage 6:** Nach welchen Abarbeitungsregeln arbeiten die Werker?

**Antwort:** Das ist unterschiedlich, an den Fräsen gebe ich vor was wie aufzuspannen ist, in den Schlossereien machen sie was da ist. Durch die farbliche Kennzeichnung wissen die Werker ja welcher Auftrag als erstes fertig werden sollte.

**Frage 7:** Was meinen Sie mit farblicher Kennzeichnung?

**Antwort:** Bei Einsteuerung der Aufträge wird ihnen eine Farbe zugeordnet und die Teile mit einem Stift gekennzeichnet, damit man die Teile einem Auftrag zuordnen kann und der Suchaufwand verringert wird.

**Frage 8:** Wie behalten Sie den Überblick, was wann fertig sein soll, wenn Sie nicht nach den Terminen in den Auftragspapieren arbeiten?

**Antwort:** Ich habe einen Durchlaufplan an dem genau dokumentiert wird, wie weit jeder Auftrag ist. Die Werker an den Fräsen notieren sich die Anzahl der gefertigten Teile zu den Aufträgen und ich aktualisiere aus dieser Liste den Durchlaufplan. Nach dem Durchlaufplan meldet der Gruppenführer dann die Arbeitsvorgänge zurück.

## Gesprächsprotokoll 2

Datum: 01.09.2011

Interviewter: Nils Albrecht, WL, Zuständig für die Produktionsprogrammplanung

**Frage 1:** Wie wird die Produktionsprogrammplanung, also welches Teil, zu welcher Menge und welcher Zeit produziert werden soll, durchgeführt?

**Antwort:** Die Produktionsprogrammplanung im Neubau geht nicht in die Teile- oder Baugruppenebene, sondern wird auf Motorebene durchgeführt. Dazu treffen sich der Vertrieb von Power und Marine alle drei Monate mit der Zentrallogistik und das Produktionsprogramm wird je nach Auftragslage ein bis drei Jahr im Voraus geplant. Zurzeit wird z.B. im November 2011 das Jahr 2013 geplant.

Der Service wird extra geplant und die benötigten Teile über Richtbedarfe eingesteuert.

**Frage 2:** Auf Basis welcher Zahlen werden die Motoren geplant?

**Antwort:** Der Vertrieb erstellt eine Absatzvorschau auf Basis von bereits unterschriebenen Aufträgen, laufenden Projekten, die gerade in der Ausschreibungsphase sind, wo ein Auftrag noch nicht fixiert wurde und Marktanalysen, welche jedoch nur einen geringen Einfluss auf die Planung haben. Je nach Verlauf der Projekte werden diese mit eingeplant, wobei hier die Erfahrungswerte der Verkäufer großen Einfluss darauf haben, ob es berücksichtigt wird oder nicht.

**Frage 3:** Was passiert, wenn die Vorschau für das nächste Jahr vom Vertrieb erstellt wurde?

**Antwort:** Dann liegt es an der Zentrallogistik, die Slots für Montage und Prüfstand zu bestimmen. Das wird mit einem Planungsprogramm unter Voraussetzung bestimmter Restriktionen gemacht, wobei die Ergebnisse manuell kontrolliert und verbessert werden. Anhand dieser Engpässe kann bestimmt werden ob das Programm umgesetzt werden kann, oder nicht. Bei Unterkapazität wird an Lizenznehmer ausgelagert, oder die Auslieferungstermine angepasst und mit dem Vertrieb abgestimmt.

**Frage 4:** Wie lange bleibt ein Projekt in der Slotplanung, wenn kein Auftragsabschluss erzielt werden kann oder dieser nicht rechtzeitig vollzogen wird?

**Antwort:** Die Aufträge sollten spätestens 6 – 8 Monate vor Auslieferungstermin fixiert sein.

Kritische Bauteile haben Wiederbeschaffungszeiten bis zu 8 Monaten, die Motoren können sonst nicht rechtzeitig ausgeliefert werden. Es gibt auch Ausnahmen, wenn der Vertrieb sich sicher ist, dass der Auftrag kommt, gibt er zeitkritische Bauteile zur Beschaffung frei, es wird ein künstlicher Bedarf angelegt und bei Auftragseingang dem Motor zugeordnet. Weiters kommt es auch vor, dass „Vorausmotoren“ eingesteuert werden. Das bedeutet, dass der Motor, obwohl der Auftrag nicht abgeschlossen ist, eingesteuert wird und die Produktion und Montage wie für einen „normalen“ Motor angestoßen wird.

**Frage 5:** Das Produktionsprogramm ist erstellt, die Slots geplant, was passiert dann?

**Antwort:** Die Aufträge werden als Projekt in SAP angelegt, die Stücklisten von der Konstruktion kontrolliert und freigegeben. Dann erst steuert die Produktion die Fertigungsstücklisten ein. Primärbedarf ist der Motor und über die Stücklistenauflösung, mittels MRPII werden die Sekundärbedarfe ermittelt.

**Frage 6:** Wie läuft die Kapazitätsplanung oder der -abgleich?

**Antwort:** Wie bereits erwähnt wird über die Slots geplant zusätzlich noch kritische Bauteile wie z.B. die Kurbelwälle, das Zylinderkurbelgehäuse und Turbolader abgefragt, wie bei „On-Top-Aufträgen“ Im SAP gibt es auch eine langfristige Szenarienplanung, wo neben den Aufträgen auch Projekte berücksichtigt werden. Mit der wird auch die langfristige Kapazitätsplanung durchgeführt. Mittlerweile stellt auch die Einspritzpumpenfertigung einen Engpass dar, der zukünftig berücksichtigt werden muss.

**Frage 7:** Was sind „OnTop-Aufträge“?

**Antwort:** Das sind Aufträge die kurzfristig zusätzlich bei freien Kapazitäten eingeplant werden. Meist wird vom Vertrieb angefragt ob das möglich ist und es muss kurzfristig entschieden werden ob wir den Auftrag noch fertigen können.